

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Návrh nastavení elektrických ochran
v rozvodně Krnov 110/22 kV
Design of electrical protections for
substation Krnov

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Urbančík**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně Krnov 110/22 kV**
Design of electrical protections for substation Krnov
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů
3. Popis rozvodny Krnov 110/22 kV
4. Popis ochrany navržených pro chránění rozvodny
5. Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně Krnov 110/22 kV
6. Zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
6. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
7. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny Krnov.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ostrava, 20.4.2020

Podpis:



Poděkování

Moje poděkování patří panu doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za odborné vedení mé bakalářské práce, a to především za cenné rady a vstřícný přístup, se kterým ke mně přistupoval po celou dobu naší spolupráce.

Chtěl bych rovněž poděkovat Ing. Milanovi Blokšovi za odborný dohled a poskytnutí důležitých informací, které přispěly k realizaci mé práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem a nastavením elektrických ochran na rozvodně 110/22 kV Krnov. Práce se dělí do pěti kapitol. První kapitola zahrnuje obecný popis ochran a jištění. Druhá kapitola popisuje teorii zaměřenou na zkrat a výpočty zkratových proudů. Třetí kapitola obsahuje stručný popis rozvodny Krnov a ochrany Siemens SIPROTEC 5. Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny výpočty parametrů vedení, které jsou potřeba k výslednému výpočtu počátečního souměrného rázového zkratového proudu. Poslední kapitola se věnuje nastavení ochran na rozvodně Krnov, zvláště pak nastavení opětného zapnutí, které se na rozvodně nevyužívalo.

Klíčová slova

Ochrana, nadproudová ochrana, chráněný objekt, zkratový proudu, rozvodna, vedení, nastavení

Abstract

The aim of this thesis is to propose a configuration of electrical protection on 110/22 kV Krnov substation. This thesis is divided into five chapters. The first chapter consists of general description of protection. The second chapter presents a theory describing short-circuit and short-circuit current calculations. The third chapter then contains a brief description of Krnov substation and Siemens SIPROTEC 5 protection. The fourth chapter mentions powerline parameters calculations needed for final calculations of initial symmetrical short-circuit current. The last chapter consists of configuration of electrical protection on Krnov substation, particularly configuration of reclosing, which at this substation has not been used.

Key words

Protection, overcurrent protection, protected object, short-circuit current, substation, powerline, setting

Obsah

1.	Teoretický rozbor ochran a jištění.....	13
1.1	Úvod.....	13
1.2	Nežádoucí stavy	15
1.3	Základní požadavky na elektrické ochrany	17
1.4	Druhy ochran podle konstrukce	19
1.5	Druhy ochran a principy chránění	21
1.6	Nastavování nadproudových nezávislých ochran	26
1.7	Indikace zemního spojení v sítích vysokého napětí	30
2	Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů	32
2.1	Úvod.....	32
2.2	Příčiny vzniku	32
2.3	Druhy zkratu.....	32
2.4	Časové průběhy zkratových proudů	34
2.5	Nebezpečné děje při zkratu	36
2.6	Výpočet zkratových proudů	36
3	Popis Rozvodny Krnov 110/22 kV	43
3.1	Popis rozvodny.....	43
3.2	Zdůvodnění rekonstrukce	44
3.3	Ochrana Siemens SIPROTEC 5 7SJ85	44
4	Výpočet pro návrh ochrany na rozvodně Krnov	46
4.1	Výpočet zkratových poměrů	46
4.2	Zadané hodnoty pro výpočet vedení	48
4.3	Výpočet vedení VN272.....	55
4.4	Tabulky vypočtených zkratových poměrů	57
5	Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně Krnov	64
5.1	Rozběhový proud ochrany	64
5.2	Výpočet pro vedení VN272.....	64
5.3	Výpočet pro nastavení spojky SP.....	65
5.4	Vypočtené hodnoty pro nastavení ochrany	65
5.5	Zemní směrová ochrana	66

5.6 Opětné zapnutí.....	66
6 Závěr	68
Seznam použité literatury:.....	69
Seznam příloh.....	70
Příloha 1	71

Seznam použitých symbolů a zkratek:

A/D	analogový/digitální
c	napěťový součinitel
f	frekvence [Hz]
I	proud [A]
I_{DOV}	dovolená hodnota proudu [A]
I_k''	počáteční souměrný rázový zkratový proud [A]
K	součinitel nárazového zkratového proudu
k_b	koeficient bezpečnosti
k_c	koeficient citlivosti
k_p	přidržený poměr relé
l	délka [m]
PTP	přístrojový transformátor proudu
R	odpor [Ω]
R_k	poměrná rezistence na jednotku vedení [Ω/km]
S	průřez [mm^2]
SF_6	fluorid sírový
S_{k1}	jednofázový rázový souměrný zkratový výkon [MVA]
S_{k3}	trojfázový rázový souměrný zkratový výkon [MVA]
$S_{k\max}''$	maximální počáteční rázový souměrný zkratový výkon [MVA]
$S_{k\min}''$	minimální počáteční rázový souměrný zkratový výkon [MVA]
S_{nT}	jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru [MVA]
t	čas [s]
U	napětí [V]
u_k	napětí na krátko [V]
U_0	netočivá složka napětí [V]
U_n	jmenovité napětí [V]
VN	vysoké napětí
X	reaktance [Ω]
Z	impedance [Ω]

Seznam ilustrací

Obrázek 1- Spolupráce chráněného objektu a ochrany	13
Obrázek 2- Vstupní a výstupní veličiny ochrany	14
Obrázek 3- Charakteristiky měřicího a rozběhového členu	16
Obrázek 4- Blokové schéma elektronické ochrany	19
Obrázek 5- Blokové schéma digitální ochrany	20
Obrázek 6- Blokové schéma nadproudové ochrany časově závislé	21
Obrázek 7- Nadproudová ochrana s časově závislou charakteristikou	22
Obrázek 8- Nadproudová ochrana s časově nezávislou charakteristikou	23
Obrázek 9- Nadproudová ochrana s dvěma nezávislými charakteristikami	23
Obrázek 10- Selektivita nadproudových ochr s časově nezávislou (B.) a časově závislou charakteristikou (C.).....	24
Obrázek 11- Polozávislá nadproudová charakteristika	24
Obrázek 12- Mžiková nadproudová charakteristika	25
Obrázek 13- Použití směrové nadproudové ochrany	25
Obrázek 14- Schéma rozdílové ochrany	26
Obrázek 15- Vypínací plán nezávislých nadproudových ochr u paprskového vedení	27
Obrázek 16- Schéma vedení se zemním spojením	31
Obrázek 17- Třífázový zkrat	33
Obrázek 18- Třífázový zemní zkrat	33
Obrázek 19- Dvoufázový zkrat	33
Obrázek 20- Dvoufázový zemní zkrat.....	34
Obrázek 21- Jednofázový zkrat.....	34
Obrázek 22- Časový průběh zkratového proudu.....	35
Obrázek 23- Náhradní schéma pro výpočet trojvinutového transformátorů	42
Obrázek 24- Náhradní schéma vedení VN272.....	55

Seznam tabulek

Tabulka 1- Stávající ochrany na rozvodně Krnov na napěťové hladině 22 kV	43
Tabulka 2- Zkratové poměry na primární straně napětí (110kV)	46
Tabulka 3- Parametry transformátorů na rozvodně Krnov	46
Tabulka 4- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20).....	48

Tabulka 5- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3235><BR_2164	49
Tabulka 6- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3038><OP_0110	49
Tabulka 7- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20).....	49
Tabulka 8- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN33 odbočka k odbočka k US_BR_3037><BR_9136.....	50
Tabulka 9- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN33 odbočka k odbočka k US_BR_3037><BR_9136.....	50
Tabulka 10- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN272	51
Tabulka 11- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN262	51
Tabulka 12- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN262 odbočka k odbočka k US_BR_3316><US_BR_3329	51
Tabulka 13- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN262 odbočka k odbočka k US_BR_3183><BR_2228 (TRME VN1206).....	52
Tabulka 14- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN278	52
Tabulka 15- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN278 odbočka k odbočka k US_BR_3041><US_BR_3041	52
Tabulka 16- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN278	53
Tabulka 17- Parametry transformátoru BR_KNV1 a TVS2	53
Tabulka 18- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN374 odbočka k odbočka k US_BR_3028><US_BR_3325 (DO).....	53
Tabulka 19- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN972	53
Tabulka 20- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN974	54
Tabulka 21- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN990	54
Tabulka 22- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN991	54
Tabulka 23- Výpočet pro vedení VN272	57
Tabulka 24- Výpočet pro vedení VN59(VN20).....	57
Tabulka 25- Výpočet pro vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3235><BR_2164	58
Tabulka 26- Výpočet pro vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3038><OP_0110	58
Tabulka 27- Výpočet pro vedení VN33	58
Tabulka 28- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3037><BR_9136.....	59
Tabulka 29- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3026><BR_9187.....	59
Tabulka 30- Výpočet pro vedení VN262	60
Tabulka 31- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3316><US_BR_3329	60

Tabulka 32- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3183><BR_2228 (TRME VN1206).....	60
Tabulka 33- Výpočet pro vedení VN278	61
Tabulka 34- Výpočet pro vedení VN278 odbočka k US_BR_3041><US_BR_3041	61
Tabulka 35- Výpočet pro vedení VN374	61
Tabulka 36- Výpočet pro vedení VN374 odbočka k US_BR_3028><US_BR_3325 (DO)	62
Tabulka 37- Výpočet pro vedení VN974	62
Tabulka 38- Výpočet pro vedení VN972	62
Tabulka 39- Výpočet pro vedení VN990	63
Tabulka 40 Výpočet pro vedení VN991	63
Tabulka 41- Transformátor vlastní spotřeby BR_KRNV	63
Tabulka 42- Hodnoty pro nastavení rozběhového proudu ochran	64
Tabulka 43- Vypočtené hodnoty pro nastavení ochrany	65
Tabulka 44- Nastavení zemní směrové ochrany	66
Tabulka 45- Nastavení opětného zapnutí	67

Úvod

V dnešní době je elektrická energie nezbytnou součástí lidských životů a využívá se v každém odvětví průmyslu. Je potřebné, aby přenosová a rozvodná síť fungovala správně. K bezpečnému a bezporuchovému přenosu a distribuci elektrické energie je nutné používat ochranné prvky. Poruchy by mohly mít za následek velké škody, proto je nezbytné elektrickou síť správně chránit. Mezi tyto ochranné prvky patří elektrické ochrany.

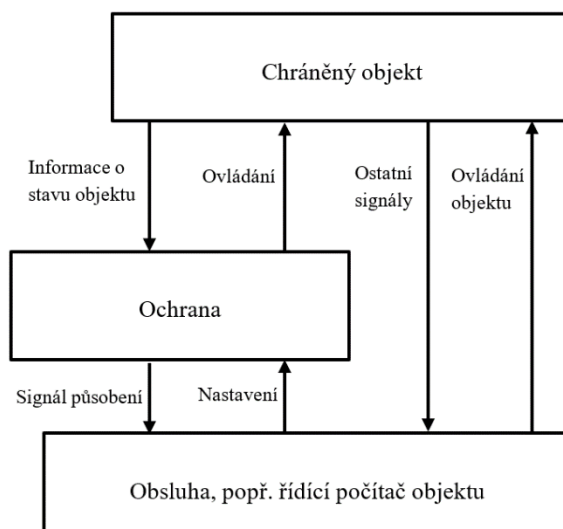
Elektrické ochrany chrání objekt, který může být vystaven nežádoucím účinkům poruchy. Mezi nejhorší případy poruch patří zkrat, jenž svými tepelnými účinky může zničit chráněný objekt v krátkém čase. Z toho důvodu je nutné, aby ochrany byly spolehlivé a bezpečné. S rozšiřující se elektrickou sítí jsou čím dál větší požadavky na elektrické ochrany. V minulosti se nejčastěji používaly elektronické a elektromechanické ochrany, které jsou nahrazovány digitálními ochranami.

První kapitola pojednává o obecném popisu ochran, technologii a zaměřuje se na teorii nadproudových ochran, směrových ochran a rozdílových ochran. Rovněž zde hovoříme o nastavení nadproudových ochran a indikaci zemních proudů v sítích vysokého napětí. Druhá kapitola je zaměřená na výpočty zkratových proudů, jež jsou nezbytné k pozdějšímu výpočtu zkratových poměrů. V této kapitole jsou popsány druhy zkratů, příčiny zkratů a jejich výpočty v poměrných a fyzikálních jednotkách. Následující kapitola zkráceně popisuje rozvodnu Krnov a důvod její rekonstrukce. Čtvrtá kapitola zahrnuje výpočet zkratových poměrů pro jednotlivá vedení. V poslední kapitole je popsáno výsledné nastavení ochran. V této kapitole je také uveden výpočet rozběhového proudu nadproudových ochran a následně jejich nastavení. Dále pak nastavení zemní směrové ochrany, spojky nacházející se mezi napájecími transformátory a opětného zapnutí.

1. Teoretický rozbor ochran a jištění

1.1 Úvod

Elektrizační soustava se skládá z prvků na výrobu, transformaci, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie. Z důvodu spolehlivosti převážky elektrické energie je nutné systém chránit. K spolehlivosti napomáhají elektrické ochrany, které chrání zařízení před nepříznivými vlivy na elektrizační síť. Za pomoci výstupních informací a nastavených parametrů je ochrana povinna rozhodnout, zda se jedná o poruchový stav nebo přechodový stav. Tyto informace získává pomocí přístrojových transformátorů proudu, přístrojových transformátorů napětí nebo jiných čidel. V případě vyhodnocení poruchového stavu elektrická ochrana udá povel k vypnutí. Vypnutý stav se poté signalizuje obsluze chráněného zařízení nebo objektu. [1][3]



Obrázek 1- Spolupráce chráněného objektu a ochrany

Výše na obrázku 1 můžeme vidět znázornění spolupráce chráněného objektu s ochranou. Chráněný objekt posílá informace o stavu objektu přes ochranu, která vyhodnotí, zda se jedná o poruchový stav, či normální provozní stav. [1]

Stav objektu $x(t)$ se skládá ze souboru stavových veličin objektu. Lze ho zapsat pomocí vektoru:

$$x(t) = \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ i_3(t) \end{bmatrix} = \text{stav je popsán proudy} \quad (1.1)$$

Výstup objektu $p(t)$ je vektor, kterým působí okolí na chráněný objekt. Přičemž:

$$p(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ u(t) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Kde:

$v(t)$ jsou vstupy, které ovládá ochrana

$u(t)$ jsou vstupy, které ochrana neovlivňuje

„Stavové veličiny chráněného objektu jsou časovou funkcí předešlých stavů vstupních veličin. Stav objektu $x(t)$ musí zahrnout informace o minulosti objektu, a tím určit výstup $z(t)$. Výstupem z objektu je vektor veličin chráněného objektu $z(t)$, kterými působí na okolí.“ [4]

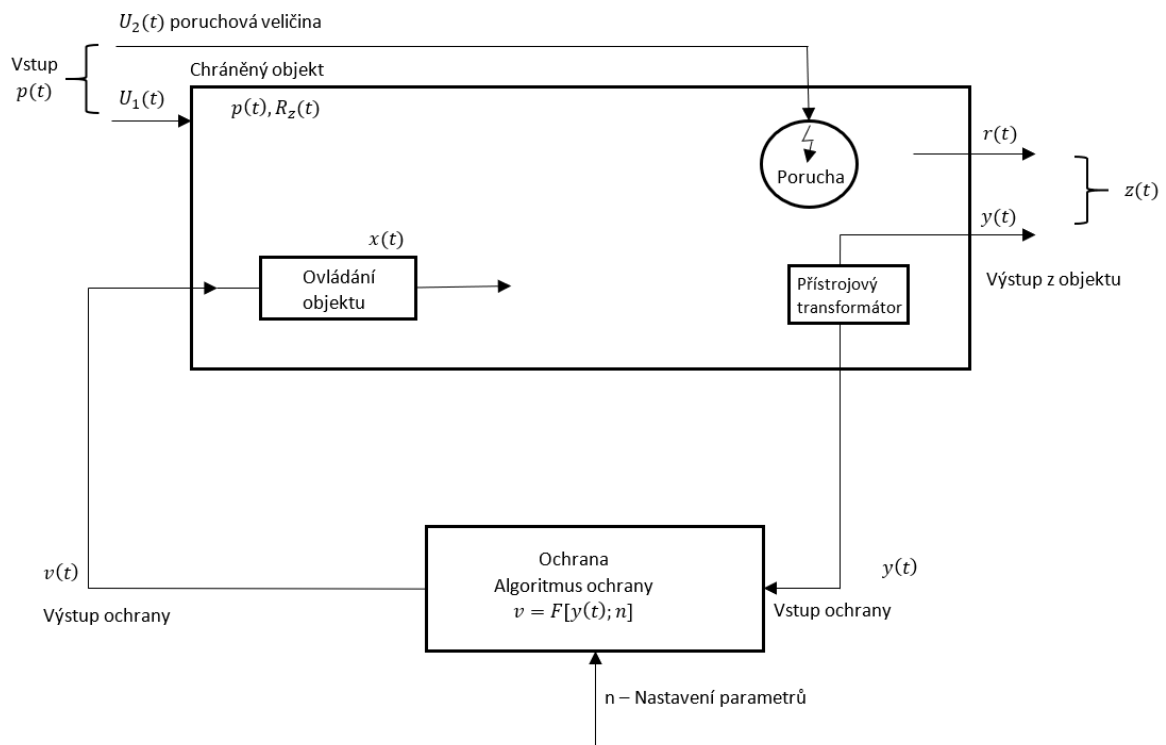
$$z(t) = \begin{bmatrix} y(t) \\ r(t) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Kde:

$y(t)$ je vektor, který je měřený ochranou a současně vstupem ochrany

$r(t)$ jsou ostatní výstupy neměřené ochranou

Poruchou se rozumí takový stav objektu, který způsobí překročení meze normálního chodu. Poruchová veličina $u_2(t)$ je fyzikální veličina, která způsobuje poruchu. Poruchová veličina může být velká nebo malá, proto se používá k připojení ochran převodník proudu a napětí nebo přístrojový transformátor. [4]



Obrázek 2- Vstupní a výstupní veličiny ochrany

Prostřednictvím přístrojového transformátoru je do ochrany přivedena měřená vstupní veličina $y(t)$, pomocí které ochrana vyhodnocuje stav objektu $x(t)$, a tím určuje vektor $v(t)$. Vektor $v(t)$ zpětně působí na objekt. Ochrana vyhodnotí vznik poruchy pomocí výstupu $y(t)$ srovnáváním se vstupními a nastavenými hodnotami. Výstupní veličina z ochrany $v(t)$ působí na ovládání objektu. [4]

Algoritmus ochrany F určuje, jakým způsobem působí ochrana na chráněný objekt.

Kde:

$$v(t) = F[y(t), n] \quad (4.4)$$

n jsou parametry, kterými lze měnit nastavení algoritmu ochrany (citlivost, přídržný poměr, dobu působení). [4]

1.2 Nežádoucí stavy

Při provozování elektrizační soustavy se můžou vyskytnout stavy, které mohou narušit stabilitu provozu. Nezapůsobí-li elektrické ochrany v poruchovém stavu, může dojít k poškození chráněného objektu, okolních objektů nebo k ohrožení bezpečnosti osob. Mezi nejčastější poruchy patří přepětí, přetížení, zkraty, zemní spojení atd. [4]

Přepětí může být způsobeno přímým úderem blesku do nekrytých částí chráněného objektu nebo indukci, jež vznikne v důsledku úderu blesku v blízkosti chráněného zařízení. K dalšímu případu přepětí může dojít vlivem spínacích pochodů v síti. Toto přepětí se nazývá provozní a vyskytuje se převážně v obvodech s velkými indukčnostmi nebo kapacitami. Přepětí může mít za následek porušení izolace vodiče nebo může dojít k nežádoucím přeskokům mezi živými částmi chráněného objektu. [4]

Přetěžování elektrických zařízení nebo vodičů znamená zatížení vyšším proudem, než je hodnota jmenovitého proudu. Přetěžování může být krátkodobé a dlouhodobé. Dlouhodobé přetížení je nebezpečné pro každé zařízení. Krátkodobé přetížení nemusí být nebezpečné pro chráněný objekt v případě, kdy teplota vodiče nebo jiných částí se vlivem nadproudu neoteplí nad dovolenou mez. [4]

Zkrat vzniká vlivem spojení fáze nebo dvou fází s uzemněnou nulou, případně spojením nakrátko dvou a více fází. Projevuje se zvětšením proudu až na hodnotu několikanásobku jmenovité hodnoty. Přístroj nebo vodič nacházející se ve zkratu je namáhán dynamickými a tepelnými účinky, které mohou mít za důsledek zničení nebo poškození přístroje. [4]

Zemní spojení je galvanické spojení jedné fáze se zemí v sítích, kde je izolovaný nebo kompenzovaný uzel. Nastane-li zemní spojení, napětí na postižené fázi klesne na nulovou hodnotu. Na nepostižených fázích hodnota napětí stoupne z fázové na sdruženou. V nulové vodiči napětí stoupne na hodnotu fázového napětí. [1]

1.2.1 Základní členy ochrany

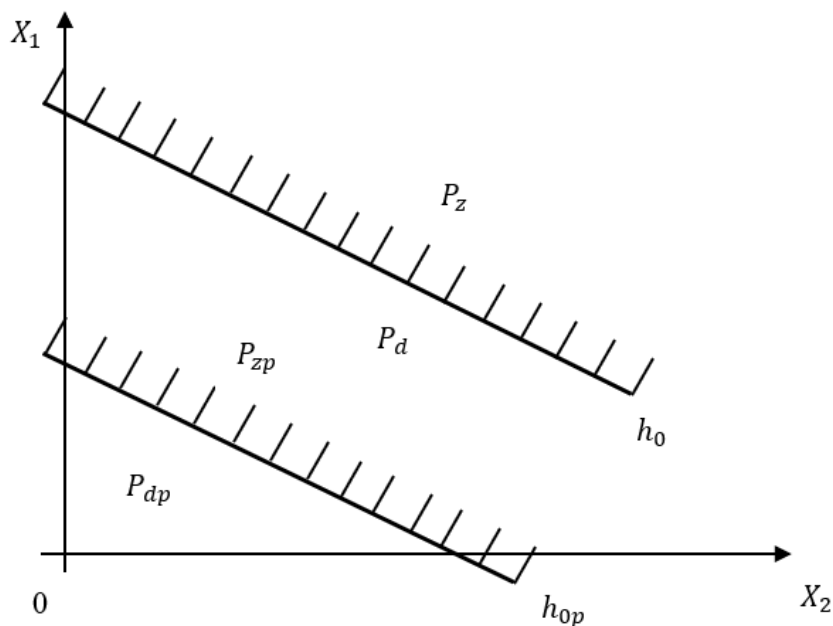
Ochrana se skládá z několika částí. Jejich počet a druh závisí na druhu a typu ochrany. Elektrická ochrana nemusí obsahovat všechny uvedené části uvedené níže v textu.

1.2.2 Vstupní člen

Úlohou vstupního členu je převést kontrolovanou veličinu na zpracovatelný tvar a požadovanou úroveň dalších částí ochrany. Vstupní veličina je převedena na úroveň voltů a miliampérů. Tímto dojde k miniaturizaci ostatních členu ochrany a ochraně před elektromagnetickým rušením. Jmenovité vstupní napětí ochrany je obvykle 100 voltů a jmenovitý proud mezi 1 až 5 ampérů. Tyto veličiny jsou přiváděny na vstup ochrany nejčastěji z přístrojových transformátorů napětí nebo přístrojových transformátorů proudu. [3]

1.2.3 Rozběhový člen

Rozběhový člen uvádí do činnosti ochranu při vzniku poruchy. Rozběhovému členu se také říká popudový člen. Každá ochrana má rozběhový člen. Rozběhový člen musí mít co největší citlivost na kontrolovanou veličinu a to zabezpečuje spolehlivou činnost ochrany jako celku. Rozběhový člen aktivuje činnost dalších členů ochrany, posílá informace měřicímu členu a logickému členu, čímž se zabezpečí působení koncového členu. Rozběhový a měřicí člen mohou mít stejné vlastnosti a jejich charakteristiky mohou být totožné, ale s jinou citlivostí. [3]



Obrázek 3- Charakteristiky měřicího a rozběhového členu

Kde:

h_0 je charakteristika měřicího členu

h_{0p} je charakteristika rozběhového členu

P_z je zakázaný prostor měřicího členu

P_d je povolený prostor měřicího členu

P_{zp} je zakázaný prostor rozběhového členu

P_{dp} je povolený prostor rozběhového členu

1.2.4 Měřicí člen

Měřicí člen určuje hranici mezi dovoleným prostorem P_d a zakázaným prostorem P_z , které odpovídá charakteristika h_0 . Činnost měřicího členu lze popsat pomocí Booleovy algebry. V případě identifikace poruchy v chráněném objektu ochrana sepne. Toto sepnutí se označí logickou hodnotou 1. Je-li ochrana v provozním stavu, logický stav je označen hodnotou 0. Algoritmus měřicího členu se poté zapíše následovně:

$$m(t) = M[\bar{x}(t), n_m] \quad (5.5)$$

$$M[\bar{x}(t), n_m] = \begin{cases} m(t) = 1, \text{ tak } \bar{x}(t) \in P_z \\ m(t) = 0, \text{ tak } \bar{x}(t) \in P_d \end{cases} \quad (6.6)$$

Kde:

n_m je konstanta ovlivňující nastavení elektrických parametrů měřícího členu

1.2.5 Logika

Logika reaguje na signály z měřícího a časového členu a určuje činnost koncového členu. Logika používá základní logické obvody AND, OR, XOR a NOT. Ochrana používá takový typ logického členu, který zodpovídá technologii výroby ochrany. Logické obvody v minulosti byly realizované pomocí klasických relé, diodami, tranzistory. V dnešní době se používají pouze číslicové logické obvody. [3]

1.2.6 Časový člen

Časový člen ovlivňuje čas působení elektrické ochrany. Zaručuje, že k vybavení dojde s časovým zpožděním. To se využívá k zajištění selektivity a vyloučení chybného působení ochrany. [3]

1.2.7 Koncový člen

Koncový člen je elektromagnetické relé s výkonovými kontakty. Úlohou koncového členu je přivést napětí na jednu ze dvou ovládacích cívek výkonového vypínače. Výstupní kontakty koncového členu musí být dimenzované na dostatečnou proudovou zatížitelnost a samotný člen musí být odolný oproti rušení [3].

1.2.8 Napájecí člen

Ochrana pro svoji činnost potřebuje pomocný zdroj elektrické energie, který zprostředkovává napájecí člen. Pomocí napájecího členu jsou napájeny dílčí části ochrany. Obvody ochran se dále dělí:

- ochrany bez napájení – nepotřebují pomocný zdroj,
- ochrany napájené z akumulátorového zdroje – nejčastější způsob napájení,
- napájení z přístrojových transformátorů – v případech, kdy není možno napájet ze baterií,
- napájení z vlastní spotřeby – z důvodu nízké spolehlivosti se tento způsob nepoužívá [3].

Digitální a elektronické ochrany jsou napájené ze staničních baterií přes stabilizátor napětí. Ty se doplňují o další následovné obvody z důvodu odolnosti proti rušení:

- akumulátor umístěný v ochraně – je spojený se staniční baterií jen při dobíjení,
- galvanicky oddělené soustava střídač/usměrňovač – napětí ze staničních baterií se přivede do střídače napětí a pomocí transformátoru se galvanický oddělí. Nakonec se znovu usměrní a stabilizuje. [3]

1.3 Základní požadavky na elektrické ochrany

Důvodem používání ochran nebo celých systémů ochran je včasné odpojení úseku vedení, ve kterém vznikla porucha. K vypnutí musí dojít dříve, nežli dojde k poškození chráněného objektu nebo úseku vedení. Pro splnění těchto požadavků je nutné dodržet následující požadavky na ochrany [3]:

- spolehlivost,

- b) selektivita,
- c) rychlost působení,
- d) citlivost,
- e) jednoduchost obsluhy.

1.3.1 Spolehlivost

Spolehlivost je definovaná jako schopnost vykonávat operace podle daného algoritmu elektrické ochrany. K vypnutí musí dojít ve stanoveném čase a s požadovanými parametry. Spolehlivost se dále dělí na funkčnost a bezpečnost působení. Funkčnost ochrany je schopnost ochrany eliminovat poruchové stavy v provozní době. Funkčnost jde zvýšit pomocí redundantního ochranného prvku. Bezpečnost ochrany je pravděpodobnost, že ochrana nezapůsobí správně. Chybné zapůsobení může být zapříčiněno vlastní konstrukcí ochrany nebo lidským faktorem. Bezpečnost lze zvýšit prostřednictvím sériového zařízení redundantního ochranného prvku. Redundanci ochran řeší norma ČSN 33 3051. [2]

1.3.2 Selektivita

Selektivita je definovaná jako schopnost elektrické ochrany vypnout pouze poškozenou část elektrizační soustavy, aby zařízení bez poruchy zůstaly v provozu. K dodržení selektivity je nutné, aby zareagovala ochrana nacházející se v blízkosti poruchy. Tato podmínka může být splněná těmito způsoby [3]:

- a) časovým odstupňováním – ochrana, která se nachází nejbližší místu poruchy, vybaví v nejkratší čase a všechny ostatní poruchy působí s časovým odstupňováním (používá se v nadproudových a imedančních ochranách),
- b) amplitudové a fázové porovnávání proudů – porovnávají se vstupní a výstupní proudy chráněného úseku (používá se v rozdílových a porovnávacích ochranách),
- c) určení směru toku výkonu – měří se tok výkonu na vstupní a výstupní stranách chráněného objektu (používá se v směrových porovnávacích ochranách a distančních ochranách s komunikačním kanálem),
- d) kombinací výše uvedených metod, které vedou k snížení vypínacích časů.

1.3.3 Rychlost působení

Rychlost působení je čas, za který elektrická ochrana dokáže identifikovat poruchu a vyslat povel k vypnutí. Z důvodů spolehlivé identifikace poruchy se vybavení ochran zpomaluje. Časové působení elektrických ochran dělíme na:

- a) elektromechanické ochrany – minimální čas působení je 40 ms. až 60 ms.,
- b) elektronické ochrany – čas působení je 10 ms. do 60 ms.,
- c) digitální ochrany – závisí na výpočtovém programu a technického vybavení ochrany,
- d) vlnové ochrany – do 5 ms.

Nejrychlejší čas vypnutí poruchových stavů je potřebné udělat z důvodů zachování dynamické stability elektrizační soustavy, zmenšení rozsahu poškození zařízení, zkrácení času provozu spotřebiče při sníženém napětí v neporušených částech elektrizační soustavy a zmenšení nebezpečí úrazu osob [3].

1.3.4 Citlivost

Citlivost je definovaná jako nejmenší hodnota stavové veličiny, při které ochrana vybaví. Ochrana reaguje na náhle změny v elektrizační soustavě a vybaví dříve, než by došlo vlivem poruchy k poškození přístroje nebo chráněného objektu. Pro zaručení bezpečné dodávky elektrické energie se citlivost nastavuje na nižší hodnotu stavové veličiny, než je hodnota při poruchovém stavu.

V některých případech je třeba, aby ochrana i při překročení nastavené citlivosti nezapůsobila. Je to například při přechodových jevech nebo při poruchách, které nejsou v oblasti chránění ochrany [3].

1.3.5 Jednoduchost obsluhy

K dosažení bezpečného a spolehlivého ovládní ochranných systému obsluhou je nutné, aby byl systém přehledný a jednoduchý pro ovládání. Každá funkce ochrany, která není nezbytná pro správnou funkčnost, přináší riziko pro špatnou manipulaci. V tom případě je nutné najít prostředky k eliminaci těchto rizik.

1.4 Druhy ochran podle konstrukce

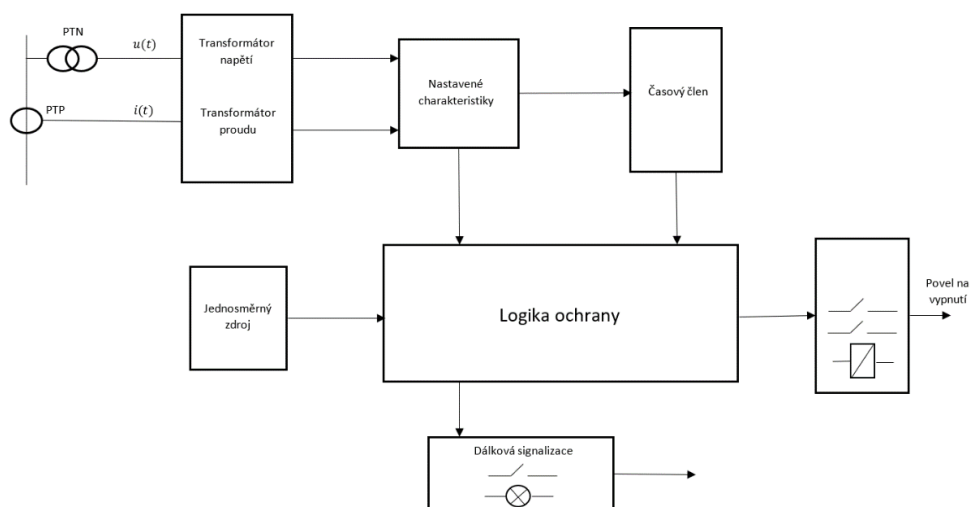
Ochrany se dělí podle konstrukce použitých prvků, z kterých jsou vyrobené.

1.4.1 Elektromechanické ochrany

Elektromechanické ochrany jsou vývojově nejstarší analogové ochrany. Konstrukčně jsou řešeny pomocí elektromagnetických relé. Elektromechanická ochrana je soubor jisticích relé, které mechanicky a elektricky spolupracují. Každá část elektromechanické ochrany vykonává pouze jednu funkci [3].

1.4.2 Elektronické ochrany

Elektronické ochrany jsou vývojově nejstarší analogové ochrany. Konstrukčně jsou řešeny pomocí elektromagnetických relé. Elektromechanická ochrana je soubor jisticích relé, které mechanicky a elektricky spolupracují. Každá část elektromechanické ochrany vykonává pouze jednu funkci [3].

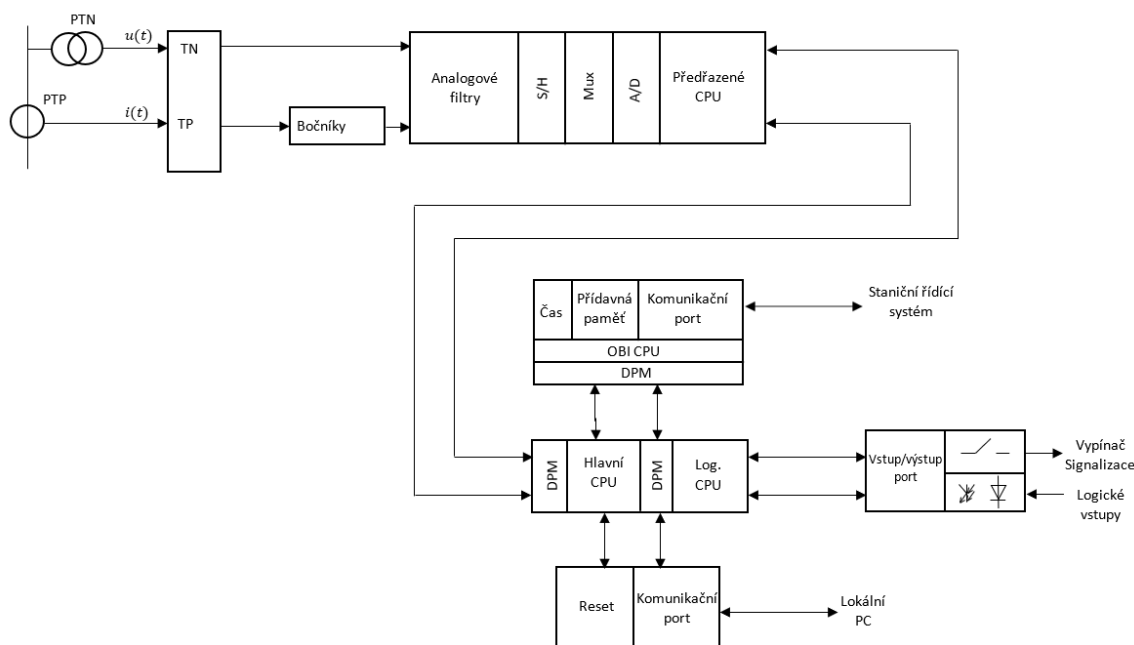


Obrázek 4- Blokové schéma elektronické ochrany

Na obrázku číslo 4 je znázorněno blokové schéma elektronické ochrany. Na vstupu ochrany je umístěn přístrojový transformátor proudu a napětí, který galvanicky odděluje chráněný objekt od obvodu ochrany. Vstupní veličiny $u(t)$ a $i(t)$ jsou porovnány v modulu nastavené charakteristiky s referenčními hodnotami. Jestliže jsou hodnoty v oblasti působení ochrany, časový člen zapůsobí. Logika ochrany při působení časového členu ověřuje, zda se stále jedná o poruchu. Po vypršení nastaveného času v časovém členu dojde k povelu vypnutí. Činnost ochrany je pro obsluhu signalizována. Jednosměrný zdroj slouží k napájení integrovaných obvodů elektronické ochrany.

1.4.3 Digitální ochrany

Mnohé tradiční přístroje a zařízení, které se v elektroenergetice používají, jsou nahrazovány výpočetní technikou. Jednou z takových oblastí jsou i digitální ochrany. Digitální ochrany využívají technologii mikropočítačů. V průběhu času se vývojem výpočetní techniky digitální ochrany zdokonalují v konstrukčním a programovém vybavení. Dokážou plnit i další úlohy, čímž přispívají k monitorování, ovládání a řízení elektrizační soustavy [3].



Obrázek 5- Blokové schéma digitální ochrany

Na obrázku 5 je blokové schéma digitální ochrany. Na vstupu do ochrany jsou umístěny přístrojové transformátory napětí a proudu. TN a TP jsou oddělovací transformátory. Bočník slouží k převádění proudu na napětí, protože analogové obvody pracují s napětím. Následuje analogový dolnoproústný filtr, který má přenášené frekvenční pásmo určené podle frekvence. Dále je zde vyobrazen zesilovač Sample and Hold, jenž drží signál na konstantní hodnotě. Multiplexor přepíná vstupní obvody sekvenčně a převádí je na společný výstup. A/D převodník slouží k převodu analogového signálu se vstupními parametry na sériové digitální signály. Celý proces je kontrolován pomocí předřazené CPU (centrální řídicí jednotka). Signály pak prochází přes paměť DPM (Dual Port Memory) typu RAM a digitální filtr do hlavního CPU, v němž běží naprogramovaný algoritmus ochrany. Logický procesor na základě výsledku z hlavního CPU a digitálních logických výstupů rozhodne, zda dá povel pro vybavení ochrany. Výstupní signály jsou galvanicky odděleny pomocí

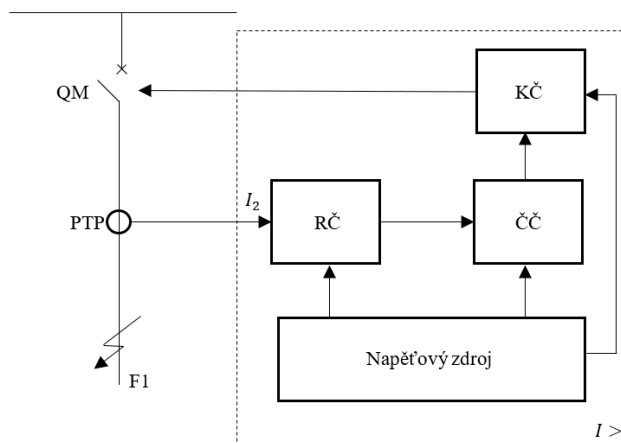
výstupních relé nebo opto-vazebních členů od silových vodičů. Rozhraní OBI je připojené k GPS a přidává k naměřeným hodnotám čas a datum [3].

1.5 Druhy ochran a principy chránění

1.5.1 Nadproudová ochrana obecně

Ve většině případů nadproudová ochrana měří třířázový proud. Jestliže naměřený proud přesáhne nastavenou hodnotu, dojde ke splnění podmínky pro vybavení ochrany v nastaveném čase. Podle nastaveného času rozděluje tyto ochrany na časově nezávislé a časově závislé. Ochrana musí reagovat na různé typy nadproudů, aby zkrat vypnul okamžitě a nadproud s časovým zpožděním. Z toho důvodů se výsledná charakteristika ochrany skládá z více charakteristik odpovídajících různým nadproudům. [4]

Nadproudová ochrana se skládá z proudových rozběhových členů RČ, časového členu ČČ a koncového členu KČ. Rozběhový člen je připojen na jednotlivé fáze sekundárního obvodu jisticích transformátorů. K činnosti potřebují střídavý proud I_2 .



Obrázek 6- Blokové schéma nadproudové ochrany časově závislé

Na obrázku obrázku 6 lze vidět poruchu na vývodu F1. Tím dojde k vzrůstu proudu. Přístrojový transformátor proudu PTP zaznamená nárůst proudu I_2 na sekundární straně. Protože tento proud překročil nastavenou hodnotu, uvede se v činnost rozběhový člen RČ, ten pošle signál do časového členu ČČ, který odpočítáním nastaveného času uvede do chodu koncový člen KČ. Koncový člen uzavře obvod pomocí výkonového vypínače QM. Tím se odpojí celý vývod, přestane protékat proud a poruchový proud se přerušuje.[3]

1.5.2 Nadproudová ochrana s časově závislou charakteristikou

U závislé ochrany je velikost proudu závislá na vypínacím čase. V případě velkého nadproudu ochrana vybaví rychleji nežli v případě malého nadproudu. Charakteristika nadproudové ochrany s časově závislou charakteristikou je znázorněná na obrázku 7.

Vypínací čas závisí na proudu podle vztahu:

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_k}\right)^\alpha - 1} \cdot T_p \quad (7.7)$$

Kde:

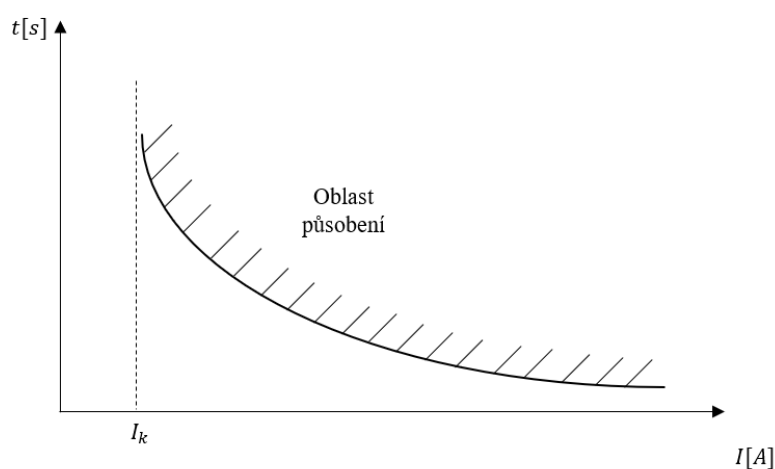
t je teoretický čas působení

K je konstanta charakterizující relé (posun charakteristiky)

I je poruchový proud

I_k je nastavený rozběhový proud

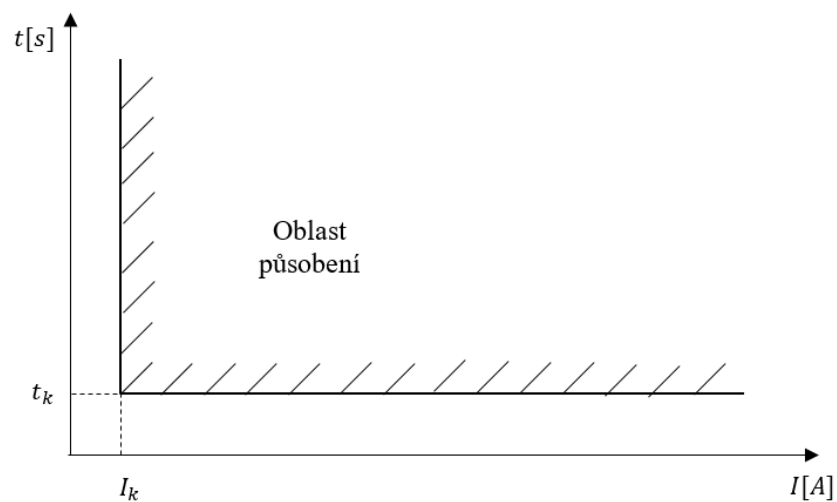
α je index charakterizující algebraickou funkcí (strmost charakteristiky)



Obrázek 7- Nadproudová ochrana s časově závislou charakteristikou

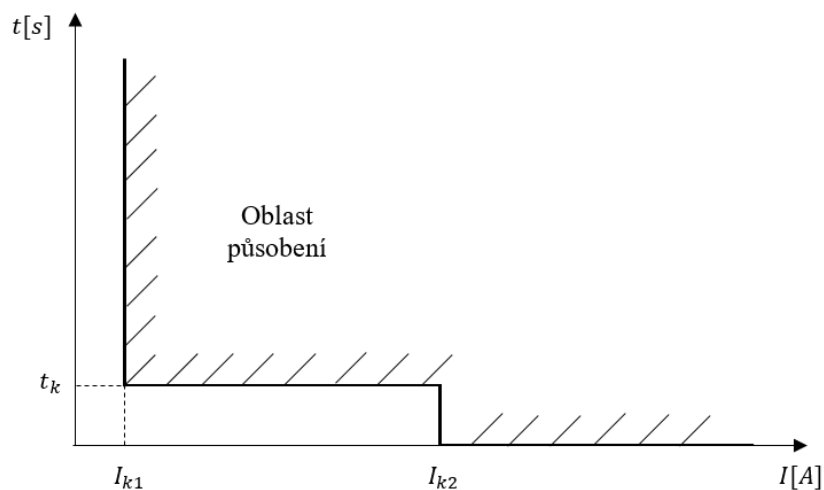
1.5.3 Nadproudová ochrana s časově nezávislou charakteristikou

V případě poruchy nezávislá ochrana vybaví při nastavené velikosti proudu I_k v nastaveném čase t_k . V okamžiku, kdy proud dosáhne nastavené hodnoty proudu ochrany, již nezáleží na velikosti proudu, ochrana zapůsobí. Charakteristika nadproudové ochrany je znázorněná na obrázku číslo 8.

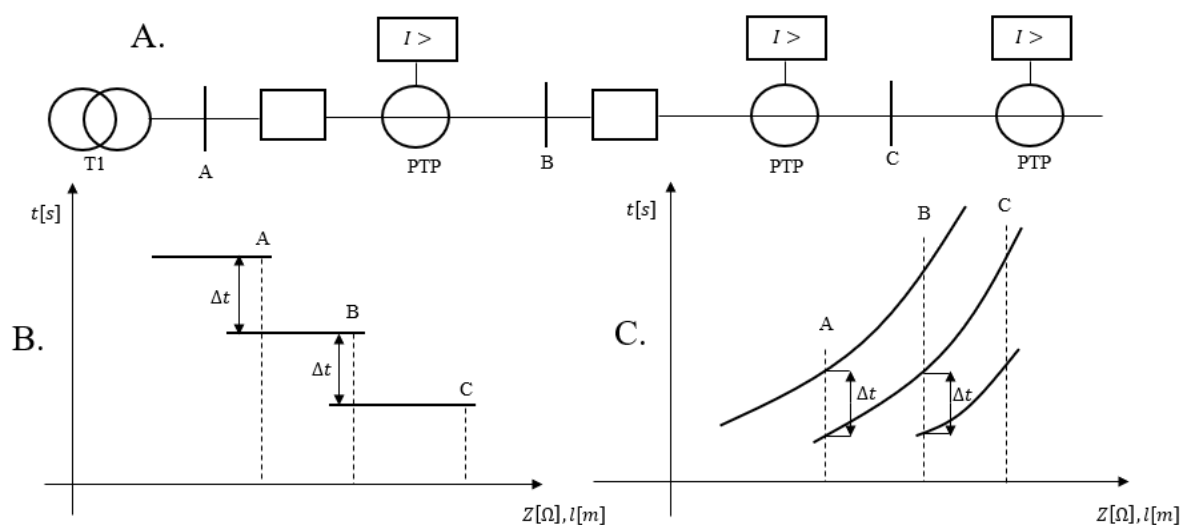


Obrázek 8- Nadproudová ochrana s časově nezávislou charakteristikou

Nadproudová ochrana může mít více charakteristik. Na obrázku 9 je znázorněno nastavení nadproudové charakteristiky pro dvě nezávislé charakteristiky. Jestliže se na ochraně objeví proud I_{k1} , ochrana vybaví v čase t_k . V případě, kdy proud nabude hodnoty I_{k2} , dojde k mžikovému vypnutí. [4]



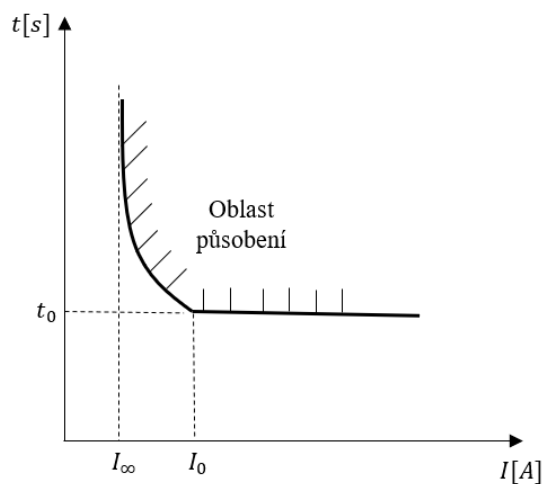
Obrázek 9- Nadproudová ochrana s dvěma nezávislými charakteristikami



Obrázek 10- Selektivita nadproudových ochran s časově nezávislou (B.) a časově závislou charakteristikou (C.)

1.5.4 Nadproudová ochrana s polozávislou charakteristikou

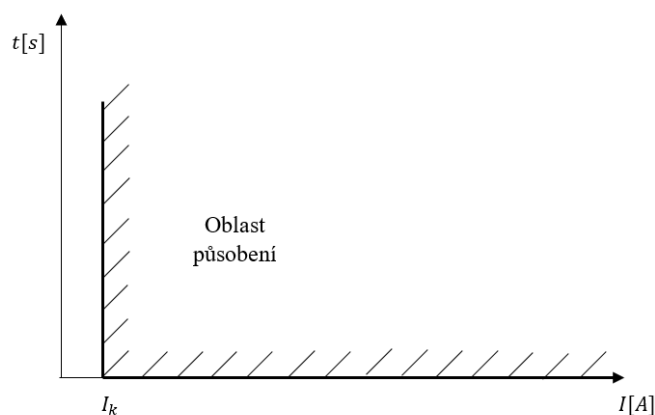
Nadproudová ochrana s polozávislou charakteristikou se skládá ze závislé nadproudové charakteristiky a nezávislé nadproudové charakteristiky. Ochrana působí při proudech $I < I_0$ v nastaveném čase a chová se jako ochrana se závislou proudovou charakteristikou. V případě, kdy proud přesáhne hodnotu nastaveného proudu I , dojde k zapůsobení ochrany v čase t_0 a chová se jako nezávislá nadproudová ochrana. Charakteristika je znázorněna na obrázku 11.



Obrázek 11- Polozávislá nadproudová charakteristika

1.5.5 Nadproudová ochrana se mžikovou charakteristikou

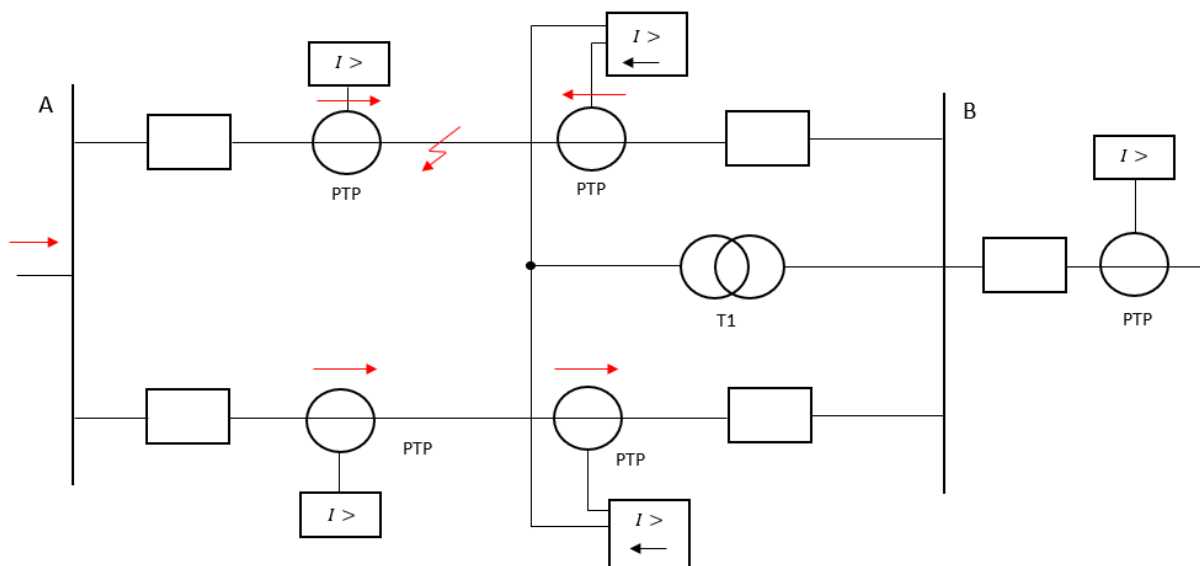
Ochrana s mžikovou charakteristikou působí bez časové prodlevy. Čas vypnutí tedy záleží na vlastním čase ochrany, který je u běžných ochran okolo 10 ms. [7]



Obrázek 12- Mžiková nadproudová charakteristika

1.5.6 Směrová ochrana

Pro chránění směrovou nadproudovou ochranou je nutné mimo měření velikosti proudu i informace o směru poruchového proudu. V případě radiální sítě teče poruchový proud vždy od zdroje k místu poruchy pouze jednou cestou, a proto není nutné měřit směr proudu. V ostatních sítích je nutné měřit i směr proudu, čímž zaručíme odpojení pouze části sítě nacházející se v poruchovém stavu a část sítě bez poruchy bude nadále v provozu.[2]



Obrázek 13- Použití směrové nadproudové ochrany

Na obrázku 13 Použití směrové nadproudové ochrany je znázorněný případ, kdy paralelní vedení je chráněno pomocí dvou směrových ochrany s okamžitou reakcí a dvou nesměrových nadproudových ochrany časově odstupňovaných. Směrové ochrany zde reagují pouze na zkratový proud, který teče z místa B do místa A. V případě opačného směru z místa A do místa B by byl zkrat ignorován. V případě, kdy dojde k shodě směru toku proudu s nastavením ochrany, dojde k vybavení ochrany. Nejdříve vypíná ochrana vzdálenější zdroji. [2]

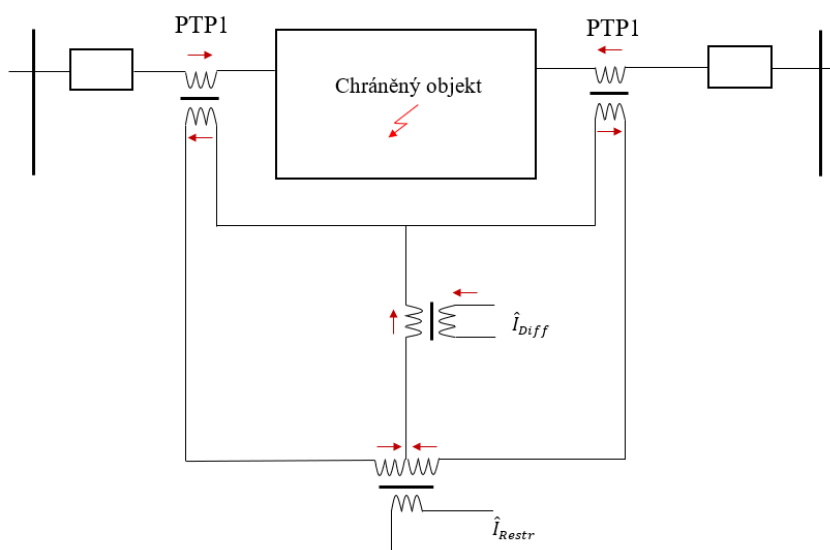
1.5.7 Rozdílová ochrana

Rozdílová ochrana pracuje na principu porovnávání vstupních a výstupních proudů z chráněného objektu, které jsou měřeny pomocí měřicích transformátorů proudu. Rozdíl těchto proudů je v provozním stavu nulový. Je-li rozdíl proudu nenulový, dochází k vybavení ochrany. Rozdíl proudu je vyhodnocován měřicím transformátorem \hat{I}_{Diff} pro NV vývodů a lze ho popsat rovnicí [2]:

$$I_{Diff} = \left| \sum_{i=1}^{NV} \hat{I}_i' \right| \quad (8.7)$$

V provozním stavu dochází k naměření malé hodnoty rozdílového proudu. Tato malá hodnota je chybou a vzniká vlivem proudu unikajícího ochranou. Je nutné nastavit citlivost, při které by ochrana vlivem tohoto proudu nevybavila. Chyba vzniká příčinou rozdílného poměru převodu transformátorů, chybou měření garantovanou výrobcem transformátorů na primární a sekundární straně, nebo změnou odbočky na silovém transformátoru. Tuto chybu lze popsat rovnicí [2]:

$$I_{Restr} = \sum_{i=1}^{NV} |\hat{I}_i'| \quad (9.8)$$

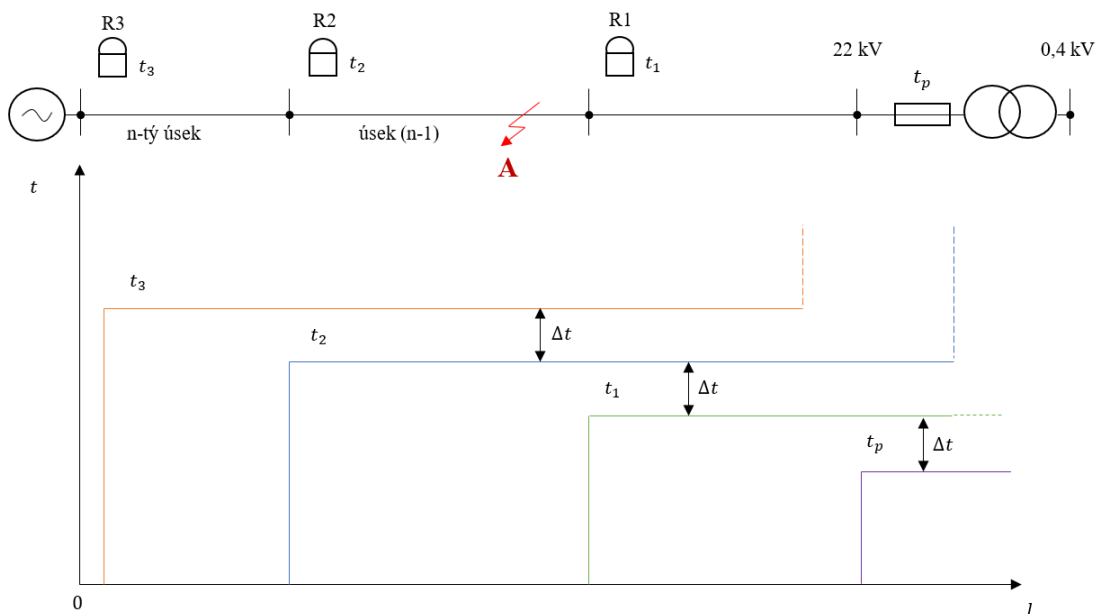


Obrázek 14- Schéma rozdílové ochrany

1.6 Nastavování nadproudových nezávislých ochran

Nadproudové nezávislé ochrany se používají převážně v radiálních sítích vysokého napětí, u kterých jsou úseky pospojovány do série. Používají se také u radiálních sítí v případě, že velikost zkratového proudu na konci vedení je málo rozdílná. Nastane-li v síti zkrat nebo porucha, dojde k vybavení ochrany v nastaveném čase t_1 nacházející se nejdále od zdroje. Během času t_1 musí dojít k zapůsobení pojistky podružné rozvodny. Z toho vyplývá, že nastavený vypínací čas ochrany R1 bude $t_1 = t_p + \Delta t$. Pro správné zapůsobení ochran je tedy nutné nastavit ochranu R2, ležící blíže ke zdroji na čas $t_2 = t_1 + \Delta t$ a pro ochranu R3 je vypínací čas $t_3 = t_2 + \Delta t$. [7]

Mezi jednotlivými vypínacími časy se volí koordinační interval Δt , který závisí na konstrukční technologii a na přesnosti zpožďovacího časového členu. Pro většinu ochran to bývá Δt v rozmezí 0,25s až 0,5s. [7]



Obrázek 15- Vypínací plán nezávislých nadproudových ochran u paprskového vedení

V případě uvedeném na obrázku 15 dojde ke zkratu v místě A. Ochrany R2 a R3 se rozběhnou. Jelikož se ochrana R2 nachází nejbližší zkratu, dojde k jejímu vypnutí v čase t_2 . Nedojde-li k zapůsobení ochrany R2, pak dojde k vypnutí ochranou R3 v čase t_3 . [7]

Největší nevýhodou nezávislých nadproudových ochran je dlouhé vypínání zkratu, jež se nachází nejbližší zdroje. Jedná se o zkraty s největší hodnotou zkratového proudu. K výhodám nezávislých ochran umístěných v paprskové síti patří vzájemné zálohování. [7]

1.6.1 Nastavení stupně selektivity

Stupeň selektivity se značí Δt a stanovuje se z rozdílu časového zpoždění dvou souvislých úseků. Nativuje se tak, aby ochrana v úseku $(n - 1)$ odpojila úsek dříve, než ochrana v úseku n . Lze ho popsat vztahem [7]:

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (10.9)$$

Pro určení stupně selektivity se stanovuje:

- doba vypnutí $t_{v(n-1)}$ vypínače předcházejícího úseku $(n - 1)$ úseku,
- celková absolutní největší kladná chyba $t_{r(n-1)}$ časového členu předcházejícího ochrany,
- celková absolutní největší záporná chyba t_{rn} časového členu následující ochrany,
- záložní čas t_z , zahrnující nepřesnosti předcházejícího činitelů (0,1s).

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z \quad (11.10)$$

1.6.2 Nastavení rozběhového proudu

Rozběhový proud se nastavuje na hodnotu větší než největší dovolená hodnota proudu na vedení. Vyjadřuje se vztahem [7]:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (12.11)$$

Kde:

I_n je největší dovolení zatížení transformátorů, vedení

k_b je koeficient bezpečnosti, jeho velikost je v rozmezí 1,1 až 1,35

k_p je přídržný poměr relé, jeho velikost bývá v rozmezí 0,85 až 0,95

p_i je jmenovitý převod jistícího transformátoru proudu

Rozběhový proud nadproudového relé nesmí být větší než nejmenší hodnota očekávaného zkratového proudu na konci chráněného úseku. V sítích vysokého napětí nejmenších zkratových hodnot dosahuje dvojfázový zkrat. Aby nedošlo ke špatnému zapůsobení relé, je nutno splnit tuto podmínku [7]:

$$I_r < \frac{I_{kmin}}{k_c \cdot p_i} \quad (13.12)$$

Kde:

I_{kmin} je nejmenší zkratový proud na konci úseku

k_c je koeficient citlivosti nadproudových ochran, pro digitální ochrany se volí hodnota 1,2 a pro elektromechanické 1,5

p_i je jmenovitý převod jistícího transformátoru proudu

Hodnota koeficientu citlivosti se volí s velkou rezervou. Čím větší hodnota se nastaví, tím dříve dojde k rozběhu nadproudového relé. Tato rezerva se volí z důvodu stále se měnícího zkratového proudu (změna zapojení v rozvodně, generální opravy, revize) [7].

1.6.3 Koordinace proudového nastavení ochran v úsecích řazených za sebou

Musí být splněná podmínka, že ochrana nacházející se v blízkosti zdroje nesmí mít nastavenou větší citlivost než ochrany nacházející se ve vzdálenějších úsecích. Tuto podmínku lze popsat rovnicí [7]:

$$I_{r\,n} = (1,1 - 1,3) \cdot I_{r\,(n-1)} \quad (14.13)$$

Kde:

$I_{r\,n}$ je nastavení proudu pro úsek sítě v místě n

$I_{r\,(n-1)}$ je nastavení proudu pro úsek sítě $(n - 1)$

Musíme vzít v úvahu, že nastavený zkratový proud na ochraně musí také ochranou protékat.

1.6.4 Podpět'ové odblokování nadproudových ochran

V případě, kdy dojde k vzrůstu proudu vlivem nadproudu nebo zkratu, dojde k poklesu napětí. Jedná-li se o zkrat, napětí může klesnout až k nule. Pokles napětí závisí na vzdálenosti od poruchy. Podpět'ové odblokování se nastaví na určitou hodnotu napětí, pod kterou nesmí klesnout. Dojde-li k poklesu napětí pod nastavenou mez, dojde k vybavení ochrany. Působení podpět'ové ochrany lze popsat vztahem [7]:

$$U_r \leq \left| \frac{\bar{Z}_l}{\bar{Z}_l + \bar{Z}_s} \right| \cdot U_i \quad (15.14)$$

Kde:

U_r je rozběhová hodnota podpět'ového relé při zkratu nacházející se na konci chráněného úseku o impedanci Z_l

Z_s je náhradní impedance napájecí soustavy

U_i je vnitřní napětí náhradního zdroje soustavy

Rozběhové podpět'ové relé musí v praxi splnit tyto podmínky:

- a) ochrana nesmí zapůsobit při nejmenším provozním napětí. Tato podmínka bude dodržena, jestliže napětí rozběhového podpět'ového relé bude menší než minimální pracovní napětí. Soudobě musí dojít k zpětnému odblokování podpět'ového relé v případě, kdy je porucha odstraněna. Toto rozběhové napětí je určeno vztahem [7]:

$$U_r < \frac{U_{min} \cdot k_p}{k_b \cdot p_n} \quad (16.15)$$

Kde:

U_{min} je minimální pracovní napětí

k_p je přídržný poměr relé

k_b je koeficient bezpečnosti

p_n je převod transformátoru napětí

- b) ochrana musí zapůsobit při zkratech nacházející se v celé délce chráněného úseku. Tato podmínka lze popsat vztahem:

$$U_r < \frac{U_{kmax} \cdot k_c}{p_n} \quad (17.16)$$

Kde:

U_{kmax} je největší zbytkové napětí v místě připojení ochrany při zkratu na konci chráněného úseku vypočtené pro nejpriznivější provozní stav

k_c je koeficient citlivosti

Z praxe víme, že u dlouhých vedení, které jsou napájeny zdroji o velkých výkonech, je citlivost podpěťového relé nevyhovující. Nelze je využít ani u sítí s asynchronními motory, u nichž se používají ochrany rozdílové nebo distanční. Používají se tedy pro krátká vedení [7].

Ochrany s napěťovým odblokováním nevypínají nadproudy, jež nezpůsobují pokles napětí. Používají se na silně zatížená krátká vedení (např. při zapínání kabelového vedení) [7].

1.7 Indikace zemního spojení v sítích vysokého napětí

Vedení je nutné chránit převážně proti nadproudům a zkratům. Dojde-li k jednofázové poruše v sítích s izolovaným nebo kompenzovaným uzlem, jedná se o zemní spojení. Nastane-li zemní spojení, dojde k zvýšení napětí na nepostižených fázích z hodnoty fázové až na hodnotu sdruženou, napětí postižené fáze klesne k nule, u nepostižených fází teče nulový proud do přípojníc, u postižené fáze teče nulový proud ven z přípojnice. Nulový proud je roven $I_0 = \frac{1}{3} \cdot I_p$ poruchového proudu tekoucího uzlem zemního spojení [10].

Převážná část vedení v síti ČEZ Distribuce je provozována paprskově s kompenzační tlumivkou a paralelním přepínatelným odporníkem. [10]

1.7.1 Nekompenzovaná síť

Sítě s neuzemněnými systémy jsou spojeny se zemí přes kapacitu vůči zemi. Pouze u malých poruchových proudů dochází k samozhašení oblouku. K detekci v nekompenzovaných sítích se používají jalové ochrany, které měří netočivou složku napětí a proudu. Princip jalového ochrany popisuje vzorec [7] [10]:

$$Q = U_0 \cdot I_0 \cdot \sin\varphi \quad (18.17)$$

1.7.2 Kompenzovaná síť

Kompenzované sítě mají uzel uzemněný přes tlumivku s proměnou impedancí. Tlumivka slouží ke kompenzování celého systému mezi fází a zemí. K detekci zemního spojení se používají wattové ochrany. Ochrana reaguje na činnou složku netočivé složky proudu vztahenou na netočivou složku napětí. Princip wattové ochrany popisuje vzorec [7] [10]:

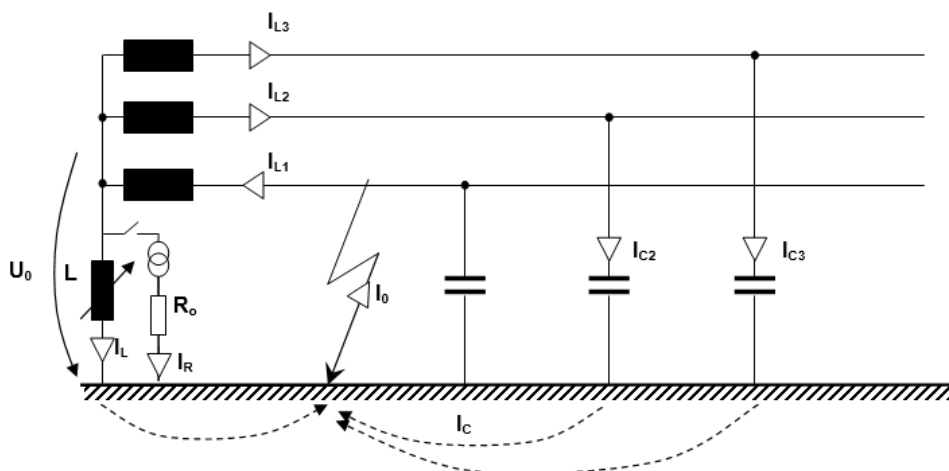
$$P = U_0 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi \quad (19.18)$$

1.7.3 Nízkoimpedančně uzemněná síť

Síť je uzemněná nízkou impedancí přes odpor nebo reaktor, pomocí kterých dojde k omezení zemního poruchového proudu. V místě poruchy se velikost proudu sníží na desítky až stovky ampér, a tím se redukuje tepelné namáhání přístrojů. V těchto sítích se používají nadproudové ochrany na netočivou složku [10].

1.7.4 Napětové a proudové poměry v kompenzované síti

Pomocí tlumivky se kompenzují kapacitní proudy sítě. Vznikne-li zemní spojení, porušenou fází prochází jen malý zbytkový proud I_0 , jenž nemusí dosáhnout hodnoty nastavené na ochraně a nedojde k zapůsobení ochrany. Z toho důvodu se používá k tlumivce paralelně připojený odporník, který dodá činnou složku proudu [10].



Obrázek 16- Schéma vedení se zemním spojením

2 Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů

2.1 Úvod

Mezi nejrozšířenější poruchy vyskytujícími se v elektrizační soustavě patří zkraty. Začleňujeme je mezi elektromagnetické přechodové děje [11].

Zkrat vzniká vodivým spojením fáze se zemí nebo spojením více fází v soustavě s uzemněným uzlem. V případě vzniku zkratu dojde k zvýšení proudu až na desetinásobek provozního proudu. Dále dojde k zmenšení impedance v postižené části sítě a poklesu napětí. V případě dokonalého zkratu napětí klesá na nulu. Zkrat způsobuje tepelné a silové účinky, a tím může dojít k poškození elektrizační soustavy. Výpočtem zkratů se zabývá norma ČSN EN 60909 [11].

2.2 Příčiny vzniku

Vznik zkratu může být způsoben mnoha způsoby. Nejčastěji se jedná o poruchy izolace, které jsou zapříčiněny špatnou montáží (nedodržení technologie při montáži), nedokonalou izolací (špatný výrobní postup, nevhodná technologie atd.), zhoršením kvality izolace vlivem stárnutí nebo vlivem tepelných účinků nadproudů [11].

Přepětí se dělí na provozní a atmosférické. V důsledku přepětí dochází k poškození izolace a následně ke zkratu [11].

Cizí zásahy jsou typem zkratu, který vzniká buď lidským faktorem nebo přírodním faktorem. Může k němu dojít v důsledku výkopových prací (překopnutí kabelu), pádu stromu na vedení, působení hlodavců, sesuv půdy atd [11].

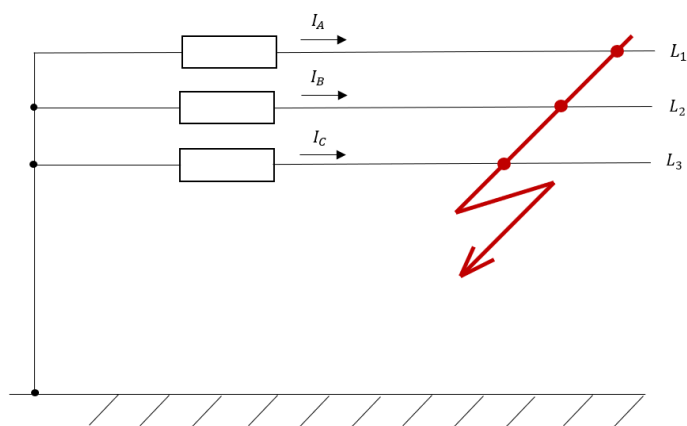
Nedostatečná zkratová odolnost zařízení je porucha, k níž dochází u starších sítí s prudkým nárůstem hodnot zkratových proudů. Často vznikají vlivem nezaznamenané poruchy příčinou částečného poškození přístroje straší technologie [11].

Vliv selhání lidského činitele je ve většině případů způsoben chybnou manipulací s elektrickými přístroji nebo ponecháním cizích předmětů v technologii přístroje [11].

2.3 Druhy zkratu

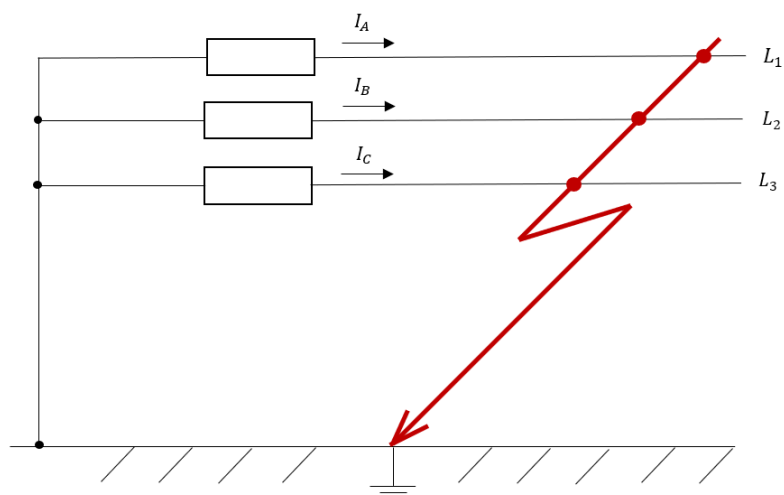
Zkraty se dělí podle typu vzniku:

- a) **Třífázový zkrat** – nastává současným spojením všech tří fází v jednom místě. Tento typ zkratu je nejzávažnější a je ho třeba rychle eliminovat,



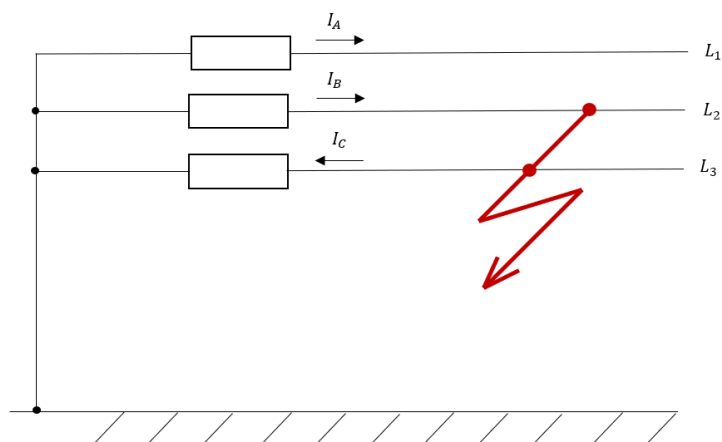
Obrázek 17- Třífázový zkrat

b) **Třífázový zemní zkrat** – vznikne v důsledku spojení všech tří fází se zemí,



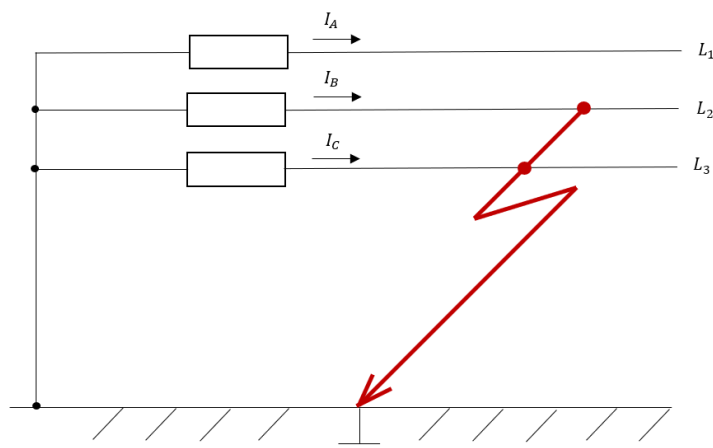
Obrázek 18- Třífázový zemní zkrat

c) **Dvoufázový zkrat** – nastává spojením dvou fází,



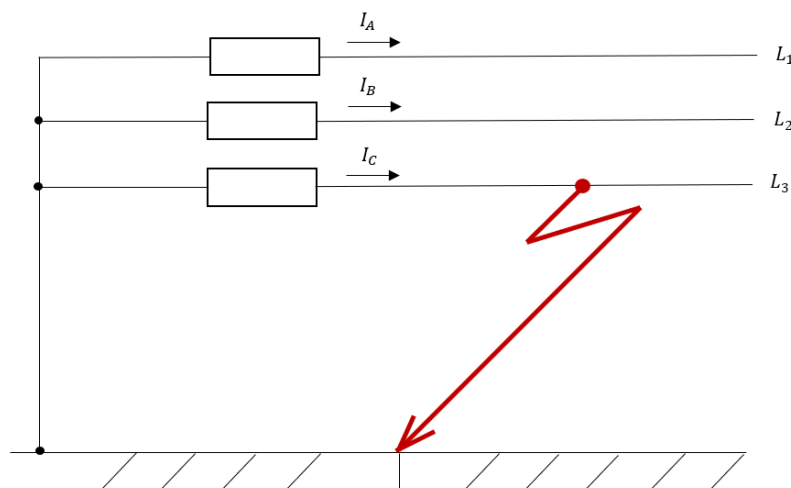
Obrázek 19- Dvoufázový zkrat

d) **Dvoufázový zemní zkrat** – nastává spojením fází se zemí,



Obrázek 20- Dvoufázový zemní zkrat

e) **Jednofázový zkrat** – nastává při spojení jedné fáze se zemí. Jedná se o nejčastější poruchu v elektrizační soustavě.



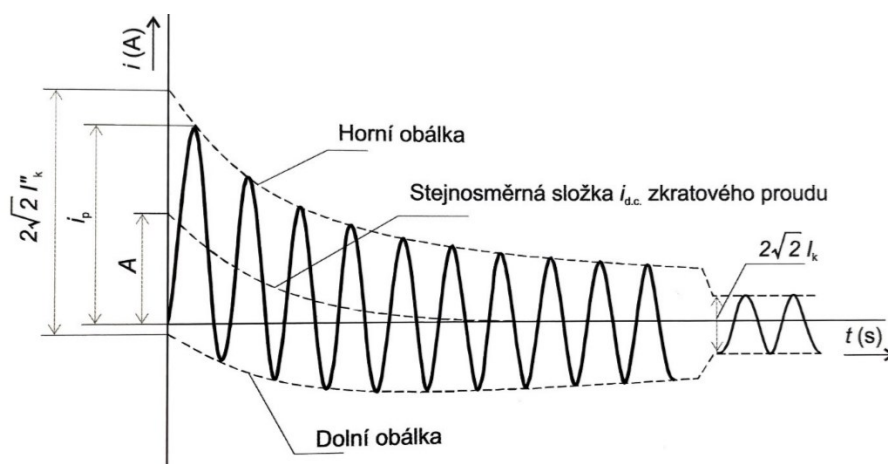
Obrázek 21- Jednofázový zkrat

Dále se zkratky dělí na:

- a) **Souměrný zkrat** – jedná se o třífázový zkrat. Vzniká v případě poškození všech tří fází najednou, ve kterých protéká proud o stejné velikosti. Ve většině případů vzniká u kabelového vedení, kdy dojde k průrazu izolace a spojení ve třech fázích,
- b) **Nesouměrný zkrat** – vzniká vlivem spojení jedné fáze se zemí, dvěma fázemi se zemí, dvěma fázemi mezi sebou. Způsobuje nesouměrné proudové zatížení.

2.4 Časové průběhy zkratových proudů

Při zkratu dochází k náhlé změně impedance a tím k přechodovému ději, který vzniká v synchronních strojích a v ostatních prvcích elektrizační soustavy. Největší hodnoty proudu dosahuje zkratový proud při samém počátku zkratu. Zkratový proud s rostoucím časem klesá až na ustálenou hodnotu [7].



Obrázek 22- Časový průběh zkratového proudu

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I''_k – efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu při konstantní impedanci. Lze ho vypočítat pomocí vzorce [7]:

$$I''_k = \frac{U_{vyp}}{Z_k} \quad (2.1)$$

$$U_{vyp} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (2.2)$$

Kde:

Z_k je zkratová impedance ve fyzikálních jednotkách

U_{vyp} je výpočtové napětí

c je napěťový činitel

U_n je jmenovité napětí

Nárazový zkratový proud i_p – maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu. A lze ho vypočítat pomocí vztahu [7]:

Kde:

$$i_p = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I''_k \quad (2.3)$$

κ je součinitel nárazového zkratového proudu

Součinitel κ pro poměr R/X se vypočítá pomocí vzorce:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}} \quad (2.4)$$

Počáteční hodnota stejnosměrné složky zkratového proudu $I_{d.c.}$ – představuje exponenciálně klesající stejnosměrný proud.

Ustálený zkratový proud I_k – efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného jevu.

Ekvivalentní oteplovací proud I_{th} – efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, jenž může obsahovat stejnosměrnou složku.

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad (2.5)$$

Kde:

n je součinitel pro tepelné účinky střídavé složky

m je součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky

2.5 Nebezpečné děje při zkratu

Tepelné působení – procházející proud vodičem způsobuje oteplení vodiče, tím se namáhá izolace a dochází ke zmenšování mechanické pevnosti vodiče. Jedná-li se o zkratový proud, tak dojde k značnému tepelnému namáhání vodiče a mohlo by dojít k průrazu vodiče [11].

Mechanické působení – v důsledku zkratu zesílí elektromagnetické pole, a to vyvolá dynamické síly, které způsobí mechanické namáhání, například ohýbání vodičů, kývání lanových vodičů, ohýbání pevných vodičů [11].

Pokles napětí – vlivem působení zkratu dochází k náhlému poklesu impedance elektrického obvodu a tím dojde ke snížení napětí. Zkratovému proudu přispívají všechny zdroje elektrických strojů v závislosti na jejich výkonu a vzdálenosti. Úbytek napětí roste od místa zdrojů až po místo zkratu, tím se projeví různou měrou v celé soustavě [11].

Indukované napětí – působením magnetického pole a indukovaným napětím vzniklým v důsledku zkratových proudů může ohrozit sdělovací zařízení [11].

Přepětí – při vypínání zkratových proudů dochází k přepětí, které může dosáhnout až dvojnásobku velikosti jmenovitého napětí. Při vypínání zkratového proudu vzniká zotavné napětí, jež může způsobit přerušení vypínacího procesu, a tak může dojít k znovu zapálení oblouku [11].

2.6 Výpočet zkratových proudů

K výpočtu zkratových proudů lze využít vzorců ve fyzikálních hodnotách a v poměrných hodnotách, které jsou uvedeny v následujícím textu.

2.6.1 Výpočet zkratových proudů ve fyzikálních jednotkách

Počáteční rázový zkratový proud pro jednofázový zkratový proud se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0|} \quad (2.6)$$

Kde:

c je napěťový činitel

U_n je jmenovité napětí (sdružené)

\bar{Z}_1 je celková sousledná zkratová impedance

\bar{Z}_2 je celková zpětná zkratová impedance

\bar{Z}_0 je celková nulová zkratová impedance

Počáteční rázový zkratový proud pro dvoufázový zkratový proud se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2|} \quad (2.7)$$

Kde:

c je napěťový činitel

U_n je jmenovité napětí (sdružené)

\bar{Z}_1 je celková sousledná zkratová impedance

\bar{Z}_2 je celková zpětná zkratová impedance

Počáteční rázový zkratový proud pro třífázový zkratový proud se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}_1|} \quad (2.8)$$

Kde:

c je napěťový činitel

U_n je jmenovité napětí (sdružené)

\bar{Z}_1 je celková sousledná zkratová impedance

Sousledné parametry:

Zkratová impedance soustavy se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$Z_{S(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k''} \quad (2.9)$$

Kde:

c je napěťový činitel, který se mění v závislosti na napěťové hladině

U_n je jmenovité napětí (sdružené)

S_k je zkratový výkon třífázové soustavy při zkratu

Zkratová impedance transformátoru (dvouvinitový) se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$Z_{T(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nt}^2}{100 \cdot S_{nt}} \quad (2.10)$$

Kde:

u_k je jmenovité napětí transformátoru nakrátko

U_{nt} je jmenovité napětí transformátoru

S_{nt} je jmenovitý výkon transformátoru

Zkratová impedance reaktoru se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$Z_{R(1)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_{nr}}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (2.11)$$

Kde:

u_R je jmenovité napětí reaktoru

U_{nr} je jmenovité sdružené napětí reaktoru

I_n je jmenovitý proud reaktoru

Zkratová reaktance a rezistence vedení se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$X_{V(1)} = X_k \cdot l \quad (2.12)$$

Kde:

X_k je poměrná reaktance vedení na jednotku délky

l je délka vedení

$$R_{V(1)} = R_k \cdot l \quad (2.13)$$

Kde:

R_k je poměrná rezistence na jednotku délky

l je délka vedení

V případě, kdy se počítá s reaktancí a rezistencí, je nutné provést výpočet velikosti impedance [6]:

$$Z_{V(1)} = \sqrt{R_V^2 + X_V^2} \quad (2.14)$$

Zkratová reaktance asynchronního motoru se v sítích nízkého napětí a v případech, kdy jsou odděleny od místa zkratu pomocí dvou transformací, zanedbávají. Výpočet se provádí pomocí vzorce [6]:

$$X_{AM(1)} = \frac{U_{nM}^2}{i_z \cdot S_{nM}} \quad (2.15)$$

Kde:

i_z je poměrný záběrný proud motoru

U_{nM} je jmenovité napětí motoru

S_{nM} je jmenovitý zdánlivý výkon motoru

Zkratová reaktance alternátoru se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$X_{Alt(1)} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (2.16)$$

Kde:

x_d'' je rázová reaktance alternátoru

U_{nG} je jmenovité napětí alternátoru

S_{nG} je jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru

Pro správnost výpočtu je nutné přepočítat parametry prvků na napěťovou hladinu v místě zkratu. Tento výpočet se určuje pomocí vztahu [6]:

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \quad (2.17)$$

Kde:

Z_1 je impedance na napěťové hladině U_1

Z_2 je impedance přepočítaná na napěťovou hladinu U_2 v místě zkratu

Zpětné parametry prvků:

Náhradní schéma sousledných složek je u výpočtu ve fyzikálních hodnotách rovno zpětným složkám.

Platí $z_{(2)} = z_{(1)}$ [6].

2.6.2 Výpočet zkratových proudů v poměrných hodnotách

Počáteční rázový zkratový proud pro jednofázový zkratový proud se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot 3 \cdot I_v}{|\bar{z}_1 + \bar{z}_2 + \bar{z}_0|} \quad (2.18)$$

Kde:

c je napěťový činitel

I_v je vztažný proud odvozený pro napětí napájecí sítě v místě připojení ze vztažného výkonu

\bar{z}_1 je celková sousledná zkratová impedance

\bar{z}_2 je celková zpětná zkratová impedance

\bar{z}_0 je celková nulová zkratová impedance

Počáteční rázový zkratový proud pro dvoufázový zkratový proud se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot I_v}{|\bar{z}_1 + \bar{z}_2|} \quad (2.19)$$

Kde:

c je napěťový činitel

I_v je vztažný proud odvozený pro napětí napájecí sítě v místě připojení ze vztažného výkonu

\bar{z}_1 je celková sousledná zkratová impedance

\bar{z}_2 je celková zpětná zkratová impedance

Počáteční rázový zkratový proud pro třífázový zkratový proud se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot I_v}{|\bar{z}_1|} \quad (2.20)$$

Kde:

c je napěťový činitel

I_v je vztažný proud odvozený pro napětí napájecí sítě v místě připojení ze vztažného výkonu

\bar{z}_1 je celková sousledná zkratová impedance

Vztažný proud se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} \cdot U_v} \quad (2.21)$$

Kde:

S_v je vztažný výkon, který si volíme na začátku výpočtů

U_v je napětí v místě zkratu

Sousledné parametry:

Zkratová impedance soustavy se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$z_{S(1)} = \frac{c \cdot I_v}{I_k''} = \frac{c \cdot S_v}{S_k} \quad (2.22)$$

Kde:

c je napěťový činitel

I_v je vztažný proud odvozený pro napětí napájecí sítě v místě připojení ze vztažného výkonu

S_v je vztažný výkon

S_k je zkratový výkon soustavy

Zkratová reaktance alternátoru se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{Alt(1)} = \frac{x_d'' \cdot S_v}{100 \cdot S_{nG}} \quad (2.23)$$

Kde:

x_d'' je rázová reaktance alternátoru

S_v je vztažný výkon

S_{nG} je jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru

Zkratová reaktance reaktoru se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{R(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nR}} \quad (2.24)$$

$$S_{nR} = \sqrt{3} \cdot U_{nR} \cdot I_{nR} \quad (2.25)$$

Kde:

u_k je impedanční napětí reaktoru

S_v je vztažný výkon

I_{nR} je jmenovitý proud reaktoru

U_{nR} je jmenovité sdružené napětí reaktoru

S_{nR} je průchozí výkon reaktoru

Zkratová impedance transformátoru se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$z_{T(1)} = \frac{u_k \cdot S_v}{100 \cdot S_{nt}} \quad (2.26)$$

Kde:

u_k je jmenovité napětí transformátoru nakrátko

S_v je vztažný výkon

S_{nt} je jmenovitý výkon transformátoru

Zkratová reaktance a rezistence vedení se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{V(1)} = X_k \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} \quad (2.27)$$

Kde:

X_k je poměrná reaktance vedení na jednotku délky

l je délka vedení

S_v je vztažný výkon

U_s je jmenovité sdružené napětí

$$r_{V(1)} = R_k \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_s^2} \quad (2.28)$$

Kde:

R_k je poměrná rezistence vedení na jednotku délky

l je délka vedení

S_v je vztažný výkon

U_s je jmenovité sdružené napětí;

Zkratová reaktance asynchronního motoru se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{AM(1)} = \frac{S_v}{i_z \cdot S_{nM}} \quad (2.29)$$

Kde:

i_z je poměrný záběrný proud motoru

S_v je vztažný výkon

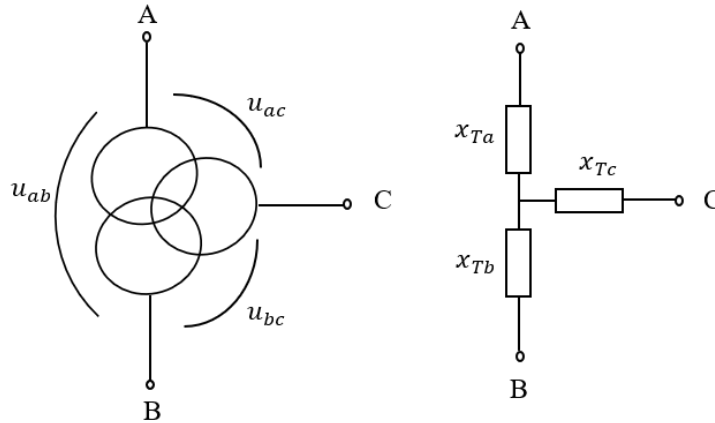
S_{nM} je jmenovitý zdánlivý výkon motoru

Zkratová reaktance trojvinutového transformátoru se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{Ta(1)} = \frac{1}{2} \cdot (u_{ab} + u_{ac} - u_{bc}) \cdot \frac{S_v}{100 \cdot S_{nt}} \quad (2.30)$$

$$x_{Tb(1)} = \frac{1}{2} \cdot (u_{ab} + u_{bc} - u_{ac}) \cdot \frac{S_v}{100 \cdot S_{nt}} \quad (2.31)$$

$$x_{Ta(1)} = \frac{1}{2} \cdot (u_{ac} + u_{bc} - u_{ab}) \cdot \frac{S_v}{100 \cdot S_{nt}} \quad (2.32)$$



Obrázek 23- Náhradní schéma pro výpočet trojvinutového transformátorů

Zpětné parametry prvků:

Náhradní schéma sousledných složek je u výpočtu v poměrných hodnotách rovno zpětným složkám. Platí $z_{(2)} = z_{(1)}$ [6].

Nulové parametry prvků:

Zkratová impedance soustavy se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{S(0)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{3}{I_{k1}''} - \frac{2}{I_{k3}''} \right) \quad (2.33)$$

Kde:

U_n je jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě

c je napěťový činitel

I_{k1}'' je počáteční rázový zkratový proud při jednofázovém zkratu

I_{k3}'' je počáteční rázový zkratový proud při trojfázovém zkratu

Zkratovou reaktanci alternátorů $x_{Alt(0)}$ udává výrobce.

Zkratová reaktance reaktoru u nulové složky je rovna sousledné složce [6]:

$$x_{R(0)} = x_{R(1)} \quad (2.34)$$

Zkratová reaktance transformátorů se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{T(0)} = 0,85 \cdot x_{T(1)} \text{ platí pro jádrové transformátory}$$

$$x_{T(0)} = x_{T(1)} \text{ platí pro plášťové transformátory}$$

Zkratová reaktance vedení se vypočítá pomocí vzorce [6]:

$$x_{V(0)} = (2 \div 5,8) \cdot x_{V(1)} \text{ závisí na velikosti napětí a druhu vedení}$$

3 Popis Rozvodny Krnov 110/22 kV

3.1 Popis rozvodny

Rozvodna Krnov funguje na napětové hladině 110/22 kV. Pole 110 kV je venkovního provedení o rozsahu devíti polí. Rozvodna je napájena dvěma transformátory T101 a T102 (tabulka 3). Rozvodna 22 kV je zapouzdřená o rozsahu 16 polí. V blízkosti rozvodny Krnov se nachází podružná rozvodna Krnov 1 s napětovou hladinou 22/6 kV.

Tabulka 1- Stávající ochrany na rozvodně Krnov na napětové hladině 22 kV

Název pole	Nadproudová ochrana	Zemní ochrana	Automatika opětovné zapnutí	Nadproudová zkratová ochrana
VN262 (kobka 01)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
VN33 (kobka 02)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
VN278 (kobka 03)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
VN974 (kobka 04)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
VN972 (kobka 05)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
VN990 (kobka 06)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
VN272 (kobka 07)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
Směr TVS1 (kobka 08)				
Směr T102 (kobka 09)				
SP (kobka 10)	ATX21			
Směr T101 (kobka 11)				
VN991 (kobka 12)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
VN59 (kobka 13)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
Směr TVS2 (kobka 14)	ATX21			A15
VN374 (kobka 15)	ATX21	RY0	OZ33X	A15
Měření W1+W2 (kobka 99)				

3.2 Zdůvodnění rekonstrukce

V rozvodně je použita kombinace digitálních ochran a elektromechanických ochran. Elektromechanické ochrany jsou již staré a mohlo by dojít k chybám při vypínání poruch. U všech elektromechanických ochran chybí dálkový dohled, zapisovače a lokátory poruch. Digitální ochrany jsou na hraně životnosti a je nutné je vyměnit. Stávající ochrany budou nahrazeny ochranami SIEMENES SIPROTEC 5 7SJ85 [8].

3.3 Ochrana Siemens SIPROTEC 5 7SJ85

Siemens SIPROTEC 5 je digitální multifunkční ochrana, která plní funkci řídicího přístroje pomocí výkonného mikroprocesoru. Ochrana dokáže zpracovat všechny úkony od naměření nežádoucího stavu, až po vypnutí silového vypínače [9].

3.3.1 Základní členy ochrany

Analogové vstupy

Vstupní veličiny ve formě napětí nebo proudu se převedou na úroveň, kterou je přístroj schopen zpracovávat. K převodu je SIPROTEC 5 vybaven analogovými převodníky proudu a napětí. K měření fázových proudů a zemního proudu slouží proudové vstupy. Použitím průvlekového transformátoru lze měřit zemní proudy s větší citlivostí [9].

Mikroprocesorový systém

V mikroprocesorovém systému dochází ke zpracování všech funkcí přístroje. Patří mezi ně například filtrace a úprava měřených veličin, trvalá kontrola měřených veličin, kontrola podmínek pro náběh jednotlivých ochranných funkcí, dotaz na mezní hodnoty a časové průběhy, řízení signálů pro logické funkce, rozhodnutí o vypínacích a zapínacích příkazech, ukládání informací, poruchových dat a poruchových hodnot pro analýzu poruch, atd [9].

Binární vstupy a výstupy

Pomocí binárních vstupů měřicí přístroj získává informace z rozvodny nebo jiných přístrojů. Výstupní veličiny jsou k řízení spínacích přístrojů a signalizaci [9].

Sériové rozhraní

Sériovým rozhraním na čelním stěně ochrany je zajištěna komunikace s počítačem, které umožňuje ovládání veškerých funkcí přístroje. Sériové rozhraní na zadní straně slouží k realizaci různých komunikačních protokolů [9].

Napájecí zdroj

Napájení jednotlivých funkčních jednotek je řešeno vnitřním zdrojem. V případě výpadku napájení za příčiny zkratu v systému pomocného napájení je napájecí zdroj překlenut kondenzátory [9].

3.3.2 Funkce ochrany

Digitální ochrana Siemens SIPROTEC 5 se vyznačuje velkou škálou funkcí v porovnání s jejími předchůdci instalovanými na rozvodně Krnov. V jednom uceleném prvku splňuje funkci směrové nadproudové ochrany fázové, napětíové závislé nadproudové ochrany, nadproudové ochrany zemní, směrové nadproudové ochrany zemní, mžikové nadproudové ochrany a mnoha dalších. Ochrana také

disponuje funkcí dvojitého opětného zapnutí, které se na rozvodně Krnov kvůli starým ochranám nedalo využívat. [9]

Nadproudová ochrana fázová

Nadproudová ochrana fázová provádí detekci zkratů na chráněném objektu. Slouží jako záložní ochrana hned vedle hlavní nadproudové směrové ochrany. Lze si vybrat ze dvou druhů nastavení, a to rozšířené a základní. Základní nastavení i rozšířené nastavení obsahuje dva nezávislé stupně nadproudové ochrany a jeden závislý stupeň nadproudové ochrany. U obou těchto nastavení lze navolit maximálně čtyři stupně nezávislé nadproudové ochrany. Rozšířené nastavení má navíc jeden stupeň uživatelsky definované charakteristiky [9].

U rozšířeného i základního nastavení lze využít dvou druhů měření vstupní veličiny. Jedním z nich je měření základní harmonické, která funguje tak, že ochrana vyhodnocuje navzorkovné hodnoty proudu a číselově z nich filtruje základní harmonickou. Druhou metodou je měření efektivní hodnoty, které zajišťuje proudovou amplitudu ze vzorkovaných hodnot pomocí definice efektivní hodnoty. Tato metoda zahrnuje vyšší harmonické [9].

Napětově závislá nadproudová ochrana fázová

Napětově závislá nadproudová ochrana fázová se používá k detekci zkratů na chráněném objektu. Nasazuje se ve zvláštních síťových podmínkách, kde se detekuje snížení poruchové napětí v závislosti na poruchovém proudu [9].

Tento typ ochrany využívá stejných dvou měřících metod jako nadproudová ochrana fázová. První z nich měří základní harmonickou a druhá metoda měří efektivní hodnoty. [9].

Směrová nadproudová ochrana fázová

Směrová nadproudová ochrana fázová slouží k ochraně chráněných objektů před zemními zkraty a používá se v sítích, které jsou napájeny z jedné strany a transformátorů, sítě napájených z dvou stran a kruhových vedení. U vedení napájených ze dvou stran a kruhově zapojených vedení zajišťuje selektivní detekci poruchy. Rovněž zde volíme ze dvou druhů nastavení, a to z rozšířeného nastavení a základního nastavení. Oba druhy nastavení obsahují dva nezávislé směrové stupně nadproudové ochrany, jeden směrový závislý stupeň nadproudové ochrany, maximálně čtyři stupně nezávislé ochrany a jeden stupeň závislé nadproudové ochrany. Pro rozšířené nastavení lze navolit i jeden stupeň uživatelsky definované nadproudové charakteristiky [9].

Směrová nadproudová ochrana používá stejnou metodu měření jako předešlé metody nadproudových ochrany. Určování směru se provádí na každé fázi zvlášť pomocí měřícího členu. Dojde-li k překročení mezní hodnoty na jedné fázi, spustí se měření směru. V případě vícefázových poruch dochází měření směru měřícím členem na každé fázi zvlášť. Směr se určuje na základě fázového úhlu mezi zkratovým proudem a referenčním napětím [9].

Automatika opětného zapnutí

Automatika opětného zapnutí je určena k automatickému zapnutí venkovního vedení po obloukových zkratech. Používá se pouze u venkovního vedení, protože u kabelového vedení není možnost samovolného zhasnutí zkratového oblouku. Automatika umožňuje až osm pokusů opětného zapnutí. K správné funkci opětného zapnutí je nutné, aby došlo k dochlazení vypínací komory vypínače během jednotlivých vypnutí. [9]

4 Výpočet pro návrh ochrany na rozvodně Krnov

4.1 Výpočet zkratových poměrů

4.1.1 Zadané hodnoty napěťové hladiny 110kV

Tabulka 2- Zkratové poměry na primární straně napětí (110kV)

Napětí (kV)	S _{ks3}	I _{ks3}	S _{ks1}	I _{ks1}
110	(MVA)	(kA)	(MVA)	(kA)
Maximální	1122,90	5,89	1017,70	5,34
Minimální	544,90	2,86	396,90	2,08

Tabulka 3- Parametry transformátorů na rozvodně Krnov

	T101	T102
S _{nT} (MVA)	40	40
U _{n1T} (kV)	110,0	110,0
U _{n2T} (kV)	23,0	23,0
u _k	11,01	11,5

4.1.2 Výpočet zkratových poměrů pro napěťovou hladinu 22kV

Výpočet maximální reaktance soustavy z napěťové hladiny 110 kV:

$$X_{s \max(110)} = \frac{c \cdot U_{n(110)}^2}{S_{k3(\min.)}''} = \frac{1 \cdot 110^2}{544,9} = 22,206 \Omega$$

Výpočet minimální reaktance soustavy z napěťové hladiny 110 kV:

$$X_{s \min(110)} = \frac{c \cdot U_{n(110)}^2}{S_{k3(\max.)}''} = \frac{1,1 \cdot 110^2}{1122,9} = 11,853 \Omega$$

Převodní poměr:

$$p_p = \frac{U_{n1t}}{U_{n2t}} \cdot \frac{U_{v2}}{U_{v1}} = \frac{110}{23} \cdot \frac{23}{115} = 0,957$$

Výpočet maximální reaktance soustavy z napěťové hladiny 22 kV:

$$X_{s \max(22)} = X_{s \max(110)} \cdot \left(\frac{U_{n2t}}{U_{n1t} \cdot p_p} \right)^2 = 22,206 \cdot \left(\frac{23}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 1,061 \Omega$$

Výpočet minimální reaktance soustavy z napěťové hladiny 22 kV:

$$X_{s \min(22)} = X_{s \min(110)} \cdot \left(\frac{U_{n2t}}{U_{n1t} \cdot p_p} \right)^2 = 11,853 \cdot \left(\frac{23}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 0,566 \Omega$$

Při zapojení transformátoru T101:

Výpočet reaktance transformátorů T101:

$$X_{T101} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT101}} = \frac{11,01}{100} \cdot \frac{23^2}{40} = 1,456 \, \Omega$$

Výpočet výsledné maximální reaktance skládající se z reaktance soustavy 22 kV a transformátoru T101:

$$X_{V \max(22)} = X_{s \max(22)} + X_{T101} = 1,061 + 1,456 = 2,517 \, \Omega$$

Výpočet výsledné minimální reaktance skládající se z reaktance soustavy 22 kV a transformátoru T101:

$$X_{V \min(22)} = X_{s \min(22)} + X_{T101} = 0,566 + 1,456 = 2,087 \, \Omega$$

Výpočet maximálního třífázového zkratového proudu:

$$I_{k \max}'' = \frac{c \cdot U_{v2}}{\sqrt{3} \cdot X_{V \min(22)}} = \frac{1,1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot 2,087} = 7,222 \, \text{kA}$$

Výpočet minimálního třífázového zkratového proudu:

$$I_{k \min}'' = \frac{c \cdot U_{v2}}{\sqrt{3} \cdot X_{V \max(22)}} = \frac{1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot 2,517} = 5,803 \, \text{kA}$$

Výpočet maximálního zkratového výkonu:

$$S_{k \max}'' = \sqrt{3} \cdot U_{v2} \cdot I_{k \max}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 7,222 = 287,718 \, \text{MVA}$$

Výpočet minimálního zkratového výkonu:

$$S_{k \min}'' = \sqrt{3} \cdot U_{v2} \cdot I_{k \min}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 5,803 = 231,174 \, \text{MVA}$$

Výpočet maximální zkratové impedance:

$$X_{k \max}'' = \frac{c \cdot S_{k \min}''}{3 \cdot I_{k \min}''^2} = \frac{1 \cdot 231,174 \cdot 10^6}{3 \cdot 5,803^2} = 2,288 \, \Omega$$

Výpočet minimální zkratové impedance:

$$X_{k \min}'' = \frac{c \cdot S_{k \max}''}{3 \cdot I_{k \max}''^2} = \frac{1,1 \cdot 287,718 \cdot 10^6}{3 \cdot 7,222^2} = 2,022 \, \Omega$$

Při zapojení transformátoru T102:

Výpočet reaktance transformátorů T102:

$$X_{T102} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT102}} = \frac{11,5}{100} \cdot \frac{23^2}{40} = 1,521 \, \Omega$$

Výpočet výsledné maximální reaktance skládající se z reaktance soustavy 22 kV a transformátoru T102:

$$X_{V \max(22)} = X_{s \max(22)} + X_{T102} = 1,061 + 1,521 = 2,582 \, \Omega$$

Výpočet výsledné minimální reaktance skládající se z reaktance soustavy 22 kV a transformátoru T102:

$$X_{V \min (22)} = X_{S \min (22)} + X_{T102} = 0,566 + 1,521 = 2,022 \, \Omega$$

Výpočet maximálního třífázového zkratového proudu:

$$I_{k \max}'' = \frac{c \cdot U_{v2}}{\sqrt{3} \cdot X_{V \min (22)}} = \frac{1,1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot 2,022} = 6,998 \, \text{kA}$$

Výpočet minimálního třífázového zkratového proudu:

$$I_{k \min}'' = \frac{c \cdot U_{v2}}{\sqrt{3} \cdot X_{V \max (22)}} = \frac{1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot 2,582} = 5,657 \, \text{kA}$$

Výpočet maximálního zkratového výkonu:

$$S_{k \max}'' = \sqrt{3} \cdot U_{v2} \cdot I_{k \max}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 6,998 = 287,768 \, \text{MVA}$$

Výpočet minimálního zkratového výkonu:

$$S_{k \min}'' = \sqrt{3} \cdot U_{v2} \cdot I_{k \min}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 5,657 = 225,372 \, \text{MVA}$$

Výpočet maximální zkratové impedance:

$$X_{k \max}'' = \frac{c \cdot S_{k \min}''}{3 \cdot I_{k \min}''^2} = \frac{1 \cdot 225,372 \cdot 10^6}{3 \cdot 5,657^2} = 2,347 \, \Omega$$

Výpočet minimální zkratové impedance:

$$X_{k \min}'' = \frac{c \cdot S_{k \max}''}{3 \cdot I_{k \max}''^2} = \frac{1,1 \cdot 287,768 \cdot 10^6}{3 \cdot 6,998^2} = 2,087 \, \Omega$$

4.2 Zadané hodnoty pro výpočet vedení

Tabulka 4- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20)

Vedení VN59(VN20)							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3030	270	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
odb. k US_BR_3030><US_BR_3359	1640	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_BR_3359><US_BR_3350	2512	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
US_BR_3350><odb. k US_BR_3349	380	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
odb. k US_BR_3349><US_BR_3027 (DO)	387	120	AlFe	284	107	0,234	0,356
US_BR_3027 (DO)><odb. k BR_9191	923	120	AlFe	284	107	0,234	0,356
odb. k BR_9191><odb. k BR_0120	249	120	AlFe	284	107	0,234	0,356
	628	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
odb. k BR_0120><odb. k US_BR_3235	135	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
	1066	120	AlFe	284	107	0,234	0,356

odb. k US_BR_3235><odb. k US_OP_3038	3823	120	AlFe	284	107	0,234	0,356
odb. k US_OP_3038><US_OP_3022	101	120	AlFe	284	107	0,234	0,356

Tabulka 5- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3235><BR_2164

1. odbočka k US_BR_3235><BR_2164							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3235><odb. k BR_2171	430	70	AlFe	225	107	0,433	0,378
odb. k BR_2171><odb. k BR_2164	794	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
odb. k BR_2164><BR_2164	268	70	AXEKVCEY	210	93	0,443	0,138

Tabulka 6- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3038><OP_0110

2. odbočka k US_BR_3038><OP_0110							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3038><odb. k US_OP_2072	373	70	AlFe	225	107	0,433	0,378
odb. k US_OP_2072><US_OP_3040	2065	70	AlFe	225	107	0,433	0,378
US_OP_3040><odb. k US_OP_3130	2032	70	AlFe	225	107	0,433	0,378
odb. k US_OP_3130><odb. k OP_2069	565	70	AlFe	225	107	0,433	0,378
odb. k OP_2069><OP_0110	1746	35	AlFe	150	107	0,778	0,398
	45	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392

Tabulka 7- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN59(VN20)

Vedení VN33							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3234	177	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	121	120	SAX	357	107	0,234	0,328
odb. k US_BR_3234><odb. k BR_9165	1286	120	SAX	357	107	0,234	0,328
	112	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
odb. k BR_9165><odb. k US_BR_3342	385	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
odb. k US_BR_3342><US_BR_3302 (DO)	496	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
US_BR_3302 (DO)><odb. k US_BR_3037	1039	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
odb. k US_BR_3037><odb. k BR_9133	319	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
odb. k BR_9133><US_BR_3299 (DO)	294	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_BR_3299 (DO)><odb. k US_BR_3026	359	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
odb. k US_BR_3026><US_BR_3300 (DO)	128	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_BR_3300 (DO)><BR_9180	223	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_9180><BR_9204	156	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
	255	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119

BR_9204><BR_2116	256	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
	121	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2116><BR_9192	232	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_9192><BR_2067	468	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2067><BR_2068	233	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2068><BR_2117	187	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2117><BR_2118	231	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2118><BR_2119	208	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2119><BR_2070	370	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2070><BR_2145	117	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
	516	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
BR_2145><BR_2168	549	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2168><BR_2069	687	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2069><US_BR_3298 (DO)	24	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	72	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361

Tabulka 8- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN33 odbočka k odbočka k US_BR_3037><BR_9136

1. odbočka k US_BR_3037><BR_9136							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3037><BR_9149	47	70	AlFe	225	107	0,433	0,378
	120	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
	10	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
BR_9149><BR_9131	10	120	AXEKVCEY	285	93	0,253	0,126
	146	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_9131><BR_2158	188	150	ANKTOYPV	273	71	0,239	0,094
	200	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
	23	150	ANKTOYPV	273	71	0,239	0,094
BR_2158><BR_2040	267	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
BR_2040><BR_2115	244	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2115><BR_9172	569	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
	182	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
BR_9172><BR_2114	183	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
	132	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2114><BR_9136	237	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097

Tabulka 9- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN33 odbočka k odbočka k US_BR_3037><BR_9136

2. odbočka k US_BR_3026><BR_9187							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3026><odb. k BR_9186	2063	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
odb. k BR_9186><BR_9187	232	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
	134	70	HATPS	177	71	0,513	0,107

Tabulka 10- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN272

Vedení VN272							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3030	329	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
odb. k US_BR_3030><odb. k US_BR_3078	3066	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
odb. k US_BR_3078><odb. k US_BR_3104	1946	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
odb. k US_BR_3104><odb. k BR_2177	2056	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
odb. k BR_2177><odb. k US_BR_3102	2375	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
odb. k US_BR_3102><odb. k US_BR_3101	792	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
odb. k US_BR_3101><odb. k BR_9095	3263	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
odb. k BR_9095><US_BR_3338	1180	120	AlFe	357	107	0,234	0,356
US_BR_3338><BR_0938 (Hor.Benešov)	93	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113

Tabulka 11- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN262

Vedení VN262							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3234	178	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	117	120	SAX	430	93	0,253	0,308
odb. k US_BR_3234><odb. k BR_2042	1284	120	SAX	430	93	0,234	0,308
	168	110	AlFe	318	107	0,433	0,378
odb. k BR_2042><odb. k BR_2338	755	110	AlFe	318	107	0,234	0,356
odb. k BR_2338><odb. k US_BR_3322	1698	120	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
odb. k US_BR_3322><odb. k US_BR_3316	3374	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
odb. k US_BR_3316><US_BR_3230	4319	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_BR_3230><odb. k US_BR_3183 (TRME VN1206)	1077	120	AlFe	318	107	0,234	0,356
odb. k US_BR_3183><odb. k BR_9284	356	110	AlFe	318	107	0,234	0,356
odb. k BR_9284><US_BR_3178	1072	110	AlFe	318	107	0,234	0,356
US_BR_3178><US_BR_3092	2904	120	AlFe	318	107	0,234	0,361
US_BR_3092><BR_TRME	72	120	AlFe	318	107	0,234	0,361
	767	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113

Tabulka 12- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN262 odbočka k odbočka k US_BR_3316><US_BR_3329

1. odbočka k US_BR_3316><US_BR_3329							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3316><US_BR_3190	2452	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392

US_BR_3190><odb. k US_BR_2051	984	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392
odb. k US_BR_2051><US_BR_3090	968	70	SAX	150	93	0,443	0,044
	100	70	PAS	310	107	0,493	0,325
US_BR_3090><odb. k BR_2052	1164	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
odb. k BR_2052><odb. k BR_2140	94	70	AlFe70/11	236	107	0,433	0,378
	1069	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392
odb. k BR_2140><US_BR_3329	491	70	SAX	150	93	0,443	0,044

Tabulka 13- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN262 odbočka k odbočka k US_BR_3183><BR_2228 (TRME VN1206)

2. odbočka k US_BR_3183><BR_2228 (TRME VN1206)							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3183><odb. k BR_2227	1662	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
odb. k BR_2227><BR_2228	565	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392
	1055	42	AlFe42/7	163	107	0,715	0,392

Tabulka 14- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN278

Vedení VN278							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3033	346	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
odb. k US_BR_3033><US_BR_3285	1529	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
US_BR_3285><odb. k US_BR_3147	2468	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
odb. k US_BR_3147><US_BR_3277	582	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
	1256	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
US_BR_3277><odb. k BR_2185	1678	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
odb. k BR_2185><odb. k US_BR_3099	433	70	AlFe70/11	236	107	0,474	0,378
odb. k US_BR_3099><odb. k BR_2162	309	70	AlFe70/11	236	107	0,474	0,378
	124	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
odb. k BR_2162><odb. k US_BR_3041	1342	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
odb. k US_BR_3041><odb. k US_BR_2112	2451	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
odb. k US_BR_2112><odb. k US_BR_3196	3604	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
odb. k US_BR_3196><odb. k US_BR_2054	4199	50	AlFe	177	107	0,696	0,389
odb. k US_BR_2054><US_BR_3142	467	50	AlFe	177	107	0,696	0,389

Tabulka 15- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN278 odbočka k odbočka k US_BR_3041><US_BR_3041

1. odbočka k US_BR_3041><US_BR_3041							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3041><US_BR_3041	60	120	AlFe	357	107	0,234	0,356

Tabulka 16- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN278

Vedení VN374							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3028	2132	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
odb. k US_BR_3028><odb. k US_BR_3298	66	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
odb. k US_BR_3298><BR_9203	107	95	AlFe	284	107	0,319	0,370
	159	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
BR_9203><BR_2120	5	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
	81	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2120><BR_9201	225	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_9201><BR_2121	490	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_2121><BR_KNV1	515	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
	56	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	18	150	AXEKVCEY	319	93	0,206	0,119
BR_KNV1><trafo 6,3 MVA			224 A; 0,9"	166		0,271	5,416

Tabulka 17- Parametry transformátoru BR_KNV1 a TVS2

	BR_KNV1><trafo 6,3 MVA	TVS2 (vlastní spotřeba)
S _{nT} (MVA)	6,3	0,16
U _{n1T} (kV)	22	22
U _{n2T} (kV)	6,3	0,4
u _k	7,05	6

Tabulka 18- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN374 odbočka k odbočka k US_BR_3028><US_BR_3325 (DO)

1. odbočka k US_BR_3028><US_BR_3325 (DO)							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
odb. k US_BR_3028><odb. k BR_2060	1513	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
odb. k BR_2060><odb. k US_BR_3349	1137	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,366
odb. k US_BR_3349><US_BR_3325 (DO)	1034	95	AlFe	284	107	0,319	0,370

Tabulka 19- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN972

Vedení VN972							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><BR_9209	517	120	ANKTOYPV	241	71	0,299	0,097
BR_9209><BR_9205	268	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
BR_9205><BR_9196	22	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
BR_9196><BR_9197	172	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	220	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
BR_9197><BR_0136	61	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
	61	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088

	68	150	ANKTOYPV	273	71	0,239	0,094
BR_0136><BR_9198	198	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	197	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
BR_9198><BR_9200	239	150	ANKTOYPV	273	71	0,239	0,094
BR_9200><BR_KNV1	784	150	ANKTOYPV	273	71	0,239	0,094
	55	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	17	150	ANKTOYPV	273	71	0,239	0,094
BR_KNV1><trafo 6,3 MVA			224 A; 0,9"	166		0,271	5,416

Tabulka 20- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN974

Vedení VN974							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><BR_9173	249	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	483	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
	215	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
BR_9173><BR_KRNV (VN990)	271	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	49	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
	794	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113

Tabulka 21- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN990

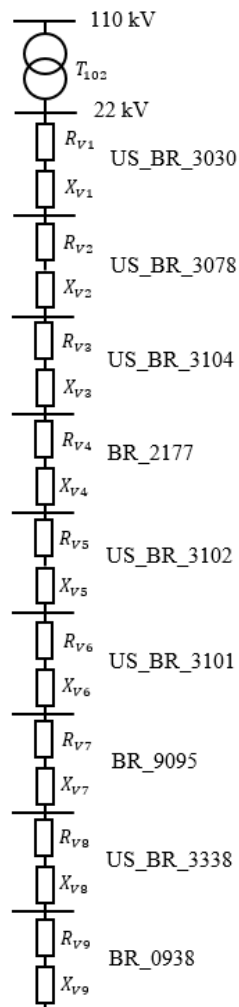
Vedení VN990							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><BR_9173	271	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	49	110	AlFe110/22	318	107	0,266	0,361
	794	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
BR_9173><BR_KRNV (VN974)	249	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	483	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
	215	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113

Tabulka 22- Zadané hodnoty pro výpočet vedení VN991

Vedení VN991							
Odkud> <Kam	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	Zatížení (A)	K	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)
BR_KRNV><BR_9138	793	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	48	110	AlFe	318	107	0,266	0,361
	522	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113
	150	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
BR_9138><BR_KNV1	360	240	ANKTOYPV	353	71	0,129	0,088
BR_KNV1><trafo 6,3 MVA			224 A; 0,9"	166		0,271	5,416

4.3 Výpočet vedení VN272

4.3.1 Náhradní schéma vedení VN272:



Obrázek 24- Náhradní schéma vedení VN272

4.3.2 Výpočet činného odporu a reaktance vedení:

Činný odpor:

$$R_{V1} = l \cdot R_{kV1} = \frac{329}{1000} \cdot 0,234 = 0,077 \, \Omega$$

$$R_{V2} = l \cdot R_{kV2} = \frac{3066}{1000} \cdot 0,234 = 0,717 \, \Omega$$

$$R_{V3} = l \cdot R_{kV3} = \frac{1946}{1000} \cdot 0,234 = 0,455 \, \Omega$$

$$R_{V4} = l \cdot R_{kV4} = \frac{2056}{1000} \cdot 0,234 = 0,481 \, \Omega$$

$$R_{V5} = l \cdot R_{k V5} = \frac{2375}{1000} \cdot 0,234 = 0,556 \Omega$$

$$R_{V6} = l \cdot R_{k V6} = \frac{792}{1000} \cdot 0,234 = 0,185 \Omega$$

$$R_{V7} = l \cdot R_{k V7} = \frac{3263}{1000} \cdot 0,234 = 0,764 \Omega$$

$$R_{V8} = l \cdot R_{k V8} = \frac{1180}{1000} \cdot 0,234 = 0,276 \Omega$$

$$R_{V9} = l \cdot R_{k V9} = \frac{93}{1000} \cdot 0,125 = 0,012 \Omega$$

Reaktance:

$$X_{V1} = l \cdot X_{k V1} = \frac{329}{1000} \cdot 0,356 = 0,117 \Omega$$

$$X_{V2} = l \cdot X_{k V2} = \frac{3066}{1000} \cdot 0,356 = 1,091 \Omega$$

$$X_{V3} = l \cdot X_{k V3} = \frac{1946}{1000} \cdot 0,356 = 0,693 \Omega$$

$$X_{V4} = l \cdot X_{k V4} = \frac{2056}{1000} \cdot 0,356 = 0,732 \Omega$$

$$X_{V5} = l \cdot X_{k V5} = \frac{2375}{1000} \cdot 0,356 = 0,846 \Omega$$

$$X_{V6} = l \cdot X_{k V6} = \frac{792}{1000} \cdot 0,356 = 0,282 \Omega$$

$$X_{V7} = l \cdot X_{k V7} = \frac{3263}{1000} \cdot 0,356 = 1,162 \Omega$$

$$X_{V8} = l \cdot X_{k V8} = \frac{1180}{1000} \cdot 0,356 = 0,42 \Omega$$

$$X_{V9} = l \cdot X_{k V9} = \frac{93}{1000} \cdot 0,113 = 0,011 \Omega$$

4.3.3 Výpočet zkratových poměru na konci vedení (BR_0938):

Výpočet celkového odporu:

$$\begin{aligned} R_c &= R_{V1} + R_{V2} + R_{V3} + R_{V4} + R_{V5} + R_{V6} + R_{V7} + R_{V8} + R_{V9} \\ &= 0,077 + 0,717 + 0,455 + 0,481 + 0,556 + 0,185 + 0,764 + 0,276 + 0,012 \\ &= 3,523 \Omega \end{aligned}$$

Výpočet celkové reaktance:

$$\begin{aligned} X_c &= X_{V1} + X_{V2} + X_{V3} + X_{V4} + X_{V5} + X_{V6} + X_{V7} + X_{V8} + X_{V9} \\ &= 0,117 + 1,091 + 0,693 + 0,732 + 0,846 + 0,282 + 1,162 + 0,42 + 0,011 \\ &= 5,353 \Omega \end{aligned}$$

Výpočet maximálního zkratového proudu:

$$I_{k3 \max}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_c^2 + (X_{k \min}'' + X_c)^2}} = \frac{1,1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,523^2 + (2,022 + 5,353)^2}} = 1,787 \text{ kA}$$

Výpočet minimálního zkratového proudu:

$$I_{k2 \min}'' = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot \sqrt{R_c^2 + (X_{k \max}'' + X_c)^2}} = \frac{1 \cdot 23}{2 \cdot \sqrt{3,523^2 + (2,347 + 5,353)^2}} = 1,358 \text{ kA}$$

Výpočet času vypnutí při zkratu vzhledem k oteplení vodiče:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{k3 \max}'' \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{240 \cdot 93}{1787 \cdot 1,02} \right)^2 = 149,408 \text{ s}$$

4.3.4 Tabulka vypočtených zkratových poměrů vedení VN272

Tabulka 23- Výpočet pro vedení VN272

Vedení VN272					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3030	0,077	0,117	6,823	4,664	3,038
odb. k US_BR_3030><odb. k US_BR_3078	0,717	1,091	4,390	3,156	3,404
odb. k US_BR_3078><odb. k US_BR_3104	0,455	0,693	3,547	2,597	8,222
odb. k US_BR_3104><odb. k BR_2177	0,481	0,732	2,941	2,181	12,595
odb. k BR_2177><odb. k US_BR_3102	0,556	0,846	2,452	1,837	18,324
odb. k US_BR_3102><odb. k US_BR_3101	0,185	0,282	2,322	1,745	26,360
odb. k US_BR_3101><odb. k BR_9095	0,764	1,162	1,907	1,445	29,378
odb. k BR_9095><US_BR_3338	0,276	0,420	1,790	1,360	43,596
US_BR_3338><BR_0938 (Hor.Benešov)	0,012	0,011	1,787	1,358	149,408

4.4 Tabulky vypočtených zkratových poměrů

Tabulka 24- Výpočet pro vedení VN59(VN20)

Vedení VN59(VN20)					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3030	0,072	0,099	6,882	4,699	2,553
odb. k US_BR_3030><US_BR_3359	0,436	0,600	5,276	3,724	2,811
US_BR_3359><US_BR_3350	0,668	0,919	3,818	2,780	4,783
US_BR_3350><odb. k US_BR_3349	0,101	0,139	3,661	2,675	9,136
odb. k US_BR_3349><US_BR_3027 (DO)	0,091	0,138	3,520	2,580	11,824
US_BR_3027 (DO)><odb. k BR_9191	0,216	0,329	3,223	2,377	12,789
odb. k BR_9191><odb. k BR_0120	0,058	0,089	3,151	2,328	15,255
	0,167	0,227	2,977	2,207	13,411
odb. k BR_0120><odb. k US_BR_3235	0,036	0,049	2,941	2,183	15,029
	0,249	0,379	2,699	2,013	18,315
odb. k US_BR_3235><odb. k US_OP_3038	0,895	1,361	2,081	1,572	21,751

odb. k US_OP_3038><US_OP_3022	0,024	0,036	2,068	1,563	36,592
-------------------------------	-------	-------	-------	-------	--------

Tabulka 25- Výpočet pro vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3235><BR_2164

1. odbočka k US_BR_3235><BR_2164					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
odb. k US_BR_3235><odb. k BR_2171	0,186	0,163	2,592	1,938	7,401
odb. k BR_2171><odb. k BR_2164	0,618	0,316	2,360	1,775	2,006
odb. k BR_2164><BR_2164	0,119	0,037	2,327	1,752	7,313

Tabulka 26- Výpočet pro vedení VN59(VN20) odbočka k US_BR_3038><OP_0110

2. odbočka k US_BR_3038><OP_0110					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
odb. k US_BR_3038><odb. k US_OP_2072	0,162	0,141	2,024	1,531	12,451
odb. k US_OP_2072><US_OP_3040	0,894	0,781	1,755	1,336	13,160
US_OP_3040><odb. k US_OP_3130	0,880	0,768	1,549	1,185	17,501
odb. k US_OP_3130><odb. k OP_2069	0,245	0,214	1,500	1,148	22,468
odb. k OP_2069><OP_0110	1,358	0,695	1,319	1,014	5,993
	0,032	0,018	1,315	1,011	11,163

Tabulka 27- Výpočet pro vedení VN33

Vedení VN33					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3234	0,022	0,020	7,151	4,858	9,180
	0,028	0,040	7,013	4,777	3,099
odb. k US_BR_3234><odb. k BR_9165	0,301	0,422	5,777	4,034	3,222
	0,036	0,041	5,673	3,971	2,976
odb. k BR_9165><odb. k US_BR_3342	0,123	0,142	5,339	3,764	3,086
odb. k US_BR_3342><US_BR_3302 (DO)	0,158	0,184	4,955	3,522	3,484
US_BR_3302 (DO)><odb. k US_BR_3037	0,331	0,384	4,289	3,093	4,046
odb. k US_BR_3037><odb. k BR_9133	0,102	0,118	4,116	2,980	5,399
odb. k BR_9133><US_BR_3299 (DO)	0,078	0,106	3,975	2,887	7,861
US_BR_3299 (DO)><odb. k US_BR_3026	0,115	0,133	3,806	2,775	6,285
odb. k US_BR_3026><US_BR_3300 (DO)	0,034	0,046	3,753	2,739	9,191
US_BR_3300 (DO)><BR_9180	0,067	0,022	3,711	2,711	4,955
BR_9180><BR_9204	0,047	0,015	3,682	2,693	5,066
	0,053	0,030	3,639	2,663	13,795
BR_9204><BR_2116	0,053	0,031	3,595	2,635	14,129
	0,036	0,012	3,574	2,620	5,397
BR_2116><BR_9192	0,069	0,023	3,532	2,593	5,463
BR_9192><BR_2067	0,140	0,045	3,450	2,538	5,592
BR_2067><BR_2068	0,070	0,023	3,409	2,511	5,863
BR_2068><BR_2117	0,056	0,018	3,377	2,490	6,003
BR_2117><BR_2118	0,069	0,022	3,338	2,463	6,118
BR_2118><BR_2119	0,062	0,020	3,303	2,440	6,264

BR_2119><BR_2070	0,111	0,036	3,241	2,399	6,397
BR_2070><BR_2145	0,035	0,011	3,222	2,386	6,642
	0,131	0,065	3,138	2,329	11,532
BR_2145><BR_2168	0,164	0,053	3,053	2,271	7,084
BR_2168><BR_2069	0,205	0,067	2,951	2,201	7,483
BR_2069><US_BR_3298 (DO)	0,003	0,003	2,949	2,199	54,980
	0,019	0,026	2,930	2,186	15,313

Tabulka 28- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3037><BR_9136

1. odbočka k US_BR_3037><BR_9136					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
odb. k US_BR_3037><BR_9149	0,020	0,018	4,260	3,075	2,931
	0,036	0,012	4,233	3,058	3,844
	0,003	0,001	4,231	3,056	6,681
BR_9149><BR_9131	0,003	0,001	4,228	3,054	6,688
	0,044	0,014	4,195	3,033	3,903
BR_9131><BR_2158	0,045	0,018	4,158	3,009	6,194
	0,041	0,024	4,116	2,982	10,819
	0,005	0,002	4,111	2,979	6,436
BR_2158><BR_2040	0,055	0,032	4,056	2,943	11,067
BR_2040><BR_2115	0,073	0,024	4,002	2,908	4,242
BR_2115><BR_9172	0,170	0,055	3,879	2,829	4,356
	0,023	0,016	3,855	2,812	18,547
BR_9172><BR_2114	0,024	0,016	3,830	2,796	18,784
	0,039	0,013	3,802	2,778	4,756
BR_2114><BR_9136	0,071	0,023	3,753	2,746	4,826

Tabulka 29- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3026><BR_9187

2. odbočka k US_BR_3026><BR_9187					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
odb. k US_BR_3026><odb. k BR_9186	0,658	0,763	3,048	2,259	6,855
odb. k BR_9186><BR_9187	0,161	0,090	2,956	2,196	2,961
	0,069	0,014	2,931	2,179	2,717

Tabulka 30- Výpočet pro vedení VN262

Vedení VN262					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3234	0,022	0,020	7,151	4,858	9,180
	0,030	0,036	7,025	4,784	2,341
odb. k US_BR_3234><odb. k BR_2042	0,300	0,395	5,845	4,077	2,426
	0,073	0,064	5,677	3,974	3,897
odb. k BR_2042><odb. k BR_2338	0,177	0,269	5,089	3,607	4,131
odb. k BR_2338><odb. k US_BR_3322	0,452	0,613	4,083	2,957	6,118
odb. k US_BR_3322><odb. k US_BR_3316	0,897	1,218	2,903	2,157	7,989
odb. k US_BR_3316><US_BR_3230	1,149	1,559	2,108	1,593	15,796
US_BR_3230><odb. k US_BR_3183 (TRME VN1206)	0,252	0,383	1,978	1,498	35,653
odb. k US_BR_3183><odb. k BR_9284	0,083	0,127	1,939	1,470	34,030
odb. k BR_9284><US_BR_3178	0,251	0,382	1,828	1,389	35,434
US_BR_3178><US_BR_3092	0,680	1,048	1,582	1,208	47,406
US_BR_3092><BR_TRME	0,017	0,026	1,577	1,204	63,324
	0,096	0,087	1,556	1,189	192,629

Tabulka 31- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3316><US_BR_3329

1. odbočka k US_BR_3316><US_BR_3329					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
odb. k US_BR_3316><US_BR_3190	1,753	0,961	2,176	1,646	2,303
US_BR_3190><odb. k US_BR_2051	0,704	0,386	1,965	1,494	4,100
odb. k US_BR_2051><US_BR_3090	0,429	0,043	1,890	1,440	10,546
	0,049	0,033	1,877	1,431	15,091
US_BR_3090><odb. k BR_2052	0,504	0,440	1,730	1,322	15,311
odb. k BR_2052><odb. k BR_2140	0,041	0,036	1,719	1,314	18,017
	0,764	0,419	1,568	1,203	6,568
odb. k BR_2140><US_BR_3329	0,218	0,022	1,542	1,184	16,559

Tabulka 32- Výpočet pro vedení VN33 odbočka k US_BR_3183><BR_2228 (TRME VN1206)

2. odbočka k US_BR_3183><BR_2228 (TRME VN1206)					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
odb. k US_BR_3183><odb. k BR_2227	1,157	0,647	1,715	1,308	7,031
odb. k BR_2227><BR_2228	0,404	0,221	1,637	1,251	6,600
	0,754	0,414	1,507	1,155	7,242

Tabulka 33- Výpočet pro vedení VN278

Vedení VN278					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3033	0,092	0,125	6,796	4,649	2,553
odb. k US_BR_3033><US_BR_3285	0,407	0,552	5,321	3,752	4,702
US_BR_3285><odb. k US_BR_3147	0,656	0,891	3,873	2,817	8,877
odb. k US_BR_3147><US_BR_3277	0,155	0,210	3,634	2,657	10,084
	0,874	0,489	3,035	2,253	2,987
US_BR_3277><odb. k BR_2185	1,168	0,653	2,446	1,842	4,598
odb. k BR_2185><odb. k US_BR_3099	0,205	0,164	2,347	1,772	9,785
odb. k US_BR_3099><odb. k BR_2162	0,146	0,117	2,282	1,724	10,359
	0,086	0,048	2,250	1,702	5,434
odb. k BR_2162><odb. k US_BR_3041	0,934	0,522	1,954	1,488	7,204
odb. k US_BR_3041><odb. k US_BR_2112	1,706	0,953	1,567	1,203	11,199
odb. k US_BR_2112><odb. k US_BR_3196	2,508	1,402	1,208	0,934	18,862
odb. k US_BR_3196><odb. k US_BR_2054	2,923	1,633	0,950	0,738	30,476
odb. k US_BR_2054><US_BR_3142	0,325	0,182	0,928	0,721	31,946

Tabulka 34- Výpočet pro vedení VN278 odbočka k US_BR_3041><US_BR_3041

1. odbočka k US_BR_3041><US_BR_3041					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
odb. k US_BR_3041><US_BR_3041	0,014	0,021	1,948	1,483	41,495

Tabulka 35- Výpočet pro vedení VN374

Vedení VN374					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{vyp} (s)
BR_KRNV><odb. k US_BR_3028	0,567	0,780	5,108	3,618	2,553
odb. k US_BR_3028><odb. k US_BR_3298	0,021	0,024	5,058	3,587	3,806
odb. k US_BR_3298><BR_9203	0,034	0,040	4,979	3,537	3,882
	0,020	0,018	4,943	3,513	19,313
BR_9203><BR_2120	0,001	0,001	4,941	3,513	7,657
	0,024	0,008	4,920	3,499	2,858
BR_2120><BR_9201	0,067	0,022	4,859	3,462	2,883
BR_9201><BR_2121	0,147	0,048	4,726	3,379	2,955
BR_2121><BR_KNV1	0,106	0,061	4,592	3,294	8,375
	0,007	0,006	4,580	3,286	22,708
	0,004	0,002	4,576	3,284	8,916
BR_KNV1><trafo 6,3 MVA	0	4,333	1,965	1,483	-

Tabulka 36- Výpočet pro vedení VN374 odbočka k US_BR_3028><US_BR_3325 (DO)

1. odbočka k US_BR_3028><US_BR_3325 (DO)					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
odb. k US_BR_3028><odb. k BR_2060	0,402	0,554	4,181	3,021	5,103
odb. k BR_2060><odb. k US_BR_3349	0,302	0,416	3,669	2,680	7,618
odb. k US_BR_3349><US_BR_3325 (DO)	0,330	0,383	3,280	2,417	7,378

Tabulka 37- Výpočet pro vedení VN974

Vedení VN974					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
BR_KRNV><BR_9173	0,031	0,028	7,122	4,841	9,180
	0,062	0,043	6,972	4,753	5,502
	0,027	0,024	6,887	4,703	9,852
BR_9173><BR_KRNV (VN990)	0,034	0,031	6,783	4,642	10,094
	0,013	0,018	6,725	4,607	2,894
	0,099	0,090	6,432	4,433	10,589

Tabulka 38- Výpočet pro vedení VN972

Vedení VN972					
Odkud> <Kam	Rv (Ω)	Xv (Ω)	I_{k3max} (kA)	I_{k2min} (kA)	t_{vyp} (s)
BR_KRNV><BR_9209	0,155	0,050	7,028	4,787	1,338
BR_9209><BR_9205	0,034	0,030	6,918	4,723	9,694
BR_9205><BR_9196	0,003	0,002	6,910	4,718	10,004
BR_9196><BR_9197	0,022	0,019	6,840	4,677	10,030
	0,028	0,025	6,753	4,626	10,234
BR_9197><BR_0136	0,008	0,005	6,734	4,614	6,120
	0,008	0,005	6,714	4,603	6,155
	0,016	0,006	6,689	4,588	2,418
BR_0136><BR_9198	0,025	0,022	6,612	4,543	10,703
	0,025	0,022	6,537	4,498	10,953
BR_9198><BR_9200	0,057	0,022	6,447	4,446	2,552
BR_9200><BR_KNV1	0,187	0,074	6,148	4,271	2,623
	0,007	0,006	6,128	4,259	12,669
	0,004	0,002	6,122	4,255	2,903
BR_KNV1><trafo 6,3 MVA	0	4,333	2,189	1,644	-

Tabulka 39- Výpočet pro vedení VN990

Vedení VN990					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{typ} (s)
BR_KRNV><BR_9173	0,034	0,031	7,114	4,836	9,180
	0,013	0,018	7,052	4,800	2,631
	0,099	0,090	6,746	4,619	9,628
BR_9173><BR_KRNV (VN974)	0,031	0,028	6,652	4,564	10,523
	0,062	0,043	6,509	4,480	6,307
	0,027	0,024	6,432	4,433	11,301

Tabulka 40 Výpočet pro vedení VN991

Vedení VN991					
Odkud> <Kam	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)	t _{typ} (s)
BR_KRNV><BR_9138	0,099	0,090	6,908	4,715	9,180
	0,013	0,017	6,850	4,681	2,790
	0,065	0,059	6,653	4,565	10,204
	0,019	0,013	6,608	4,538	6,305
BR_9138><BR_KNV1	0,046	0,032	6,502	4,475	6,391
BR_KNV1><trafo 6,3 MVA	0	4,333	2,223	1,668	-

Tabulka 41- Transformátor vlastní spotřeby BR_KRNV

BR_KRNV (transformátor vlastní spotřeby)				
Název	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (kA)	I _{k2min} (kA)
TVS2	181,5	145,2	0,063	0,049

5 Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně Krnov

5.1 Rozběhový proud ochrany

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.6.2 (Nastavení rozběhového proudu), u nezávislé nadproudové ochrany se nastavuje nadproudový článek a zkratový článek.

Tabulka 42- Hodnoty pro nastavení rozběhového proudu ochran

Vedení	I_{dov} (A)	PTP	$I_{K2\ min}$ (kA)	k_b	k_c
VN59(VN20)	150	400/1	1,011	1,2	1,2
VN33	177	300/1	2,179	1,2	1,2
VN272	357	400/1	1,358	1,2	1,2
VN262	150	200/1	1,155	1,05	1,2
VN278	177	200/1	0,721	1,2	1,2
VN374	241	300/1	2,417	1,05	1,2
VN974	318	400/1	4,433	1,2	1,2
VN972	241	300/1	4,255	1,05	1,2
VN990	318	400/1	4,433	1,2	1,2
VN991	318	400/1	4,475	1,2	1,2
SP	1500	1250/1	-	-	-
TVS2	210	200/1	0,049	-	-

5.2 Výpočet pro vedení VN272

Ve vzorci není nutné počítat s jmenovitým převodem jistícího transformátoru p_i , protože SIEMENS SIPROTEC 5 je digitální ochrana a hodnota se nastavuje na primární straně. Pomocí p_i počítáme hodnotu převedenou na sekundární stranu měřícího transformátoru.

Za hodnotu I_{kmin} se dosadí hodnota nejmenšího zkratového proudu, který nastává při izolovaném dvoupólovém zkratu. Koeficient bezpečnosti k_b se volí dle druhu vedení. V případě kabelového vedení je velikost $k_b = 1,05$. Jedná-li se o venkovní vedení, dosazuje se hodnota $k_b = 1,2$. Musí se vzít v potaz, že měřicí přístrojové transformátory lze přetěžovat maximálně na $1,2 \cdot PTP$.

Výpočet zkratového článku:

$$I_{r(zkrat.)} < \frac{I_{kmin}}{k_c}$$

$$I_{r(zkrat.)} < \frac{1,358 \cdot 1000}{1,2}$$

$$I_{r(zkrat.)} < 1132 \text{ A}$$

Přepočet na sekundární stranu PTP:

$$I_{rs(zkrat.)} < \frac{I_{r(zkrat.)}}{PTP}$$

$$I_{rs(zkrat.)} < \frac{1132}{400}$$

$$I_{rs(zkrat.)} < 2,83 \text{ A}$$

Výpočet nadproudového článku:

$$I_{r(nad.)} \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p}$$

$$I_{r(nad.)} \geq \frac{1,2 \cdot 357}{0,95}$$

$$I_{r(nad.)} \geq 451 \text{ A}$$

Přepočet na sekundární stranu PTP:

$$I_{rs(nad.)} \geq \frac{I_{r(nad.)}}{PTP}$$

$$I_{rs(nad.)} \geq \frac{451}{400}$$

$$I_{rs(nad.)} \geq 1,13 \text{ A}$$

5.3 Výpočet pro nastavení spojky SP

Pro nastavení nadproudové ochrany spojky je nutné znát přetížitelnost přístrojového transformátoru proudu. Nastavuje se na 120% přetížitelnosti přístrojového transformátoru proudu, přičemž zkratový stupeň musí dosáhnout větší hodnoty, než je největší hodnota zkratového stupně vývodu.

$$I_{r(nad.)} = 1,2 \cdot PTP = 1,2 \cdot 1250 = 1500 \text{ A}$$

5.4 Vypočtené hodnoty pro nastavení ochrany

Nastavení času t pro nadproudový a zkratový článek zůstane původní. Je to z důvodu správné funkčnosti sítě vzhledem k dlouhodobě připojeným podnikům a firmám a dlouholeté správné funkčnosti. V případě přenastavení může dojít k neselektivnímu odpojení jednotlivých chráněných úseků při poruše.

Tabulka 43- Vypočtené hodnoty pro nastavení ochrany

Vedení	Nadproudový článek			Zkratový článek		
	$I_{r(nad.)}$ (A)	t (s)	$I_{rs(nad.)}$ (A)	$I_{r(zkrat.)}$ (A)	t (s)	$I_{rs(zkrat.)}$ (A)
VN59(VN20)	190	1,5	0,47	845	0,4	2,11
VN33	225	0,8	0,75	1810	0	6,05
VN272	450	1,4	1,13	1130	0	2,83
VN262	170	1,4	0,83	1100	0,3	5,5
VN278	225	1,7	1,12	600	0	3
VN374	270	1,5	0,89	2020	0,4	6,71
VN974	400	1	1	3700	0	9,24
VN972	270	1	0,89	3550	0	11,82
VN990	400	1	1	3700	0	9,24
VN991	400	1,5	1	3700	0,4	9,32
SP	1500	0,8	1,2	-	-	-
TVS2	5	1	-	41	0	-

5.5 Zemní směrová ochrana

K ochraně proti zemnímu spojení u kompenzovaných sítí se používá wattová ochrana, která je popsána v kapitole 1.7.2 Kompenzovaná síť. Z praktických zkušeností se používá jednotné nastavení všech zemních směrových ochran. Proud se nastavuje na hodnotu $I_0 = 2 \text{ A}$ a napětí se nastavuje na hodnotu $U_0 = 15 \%$. Úhel φ_0 mezi napětím a proudem ovlivňuje chyba přístrojového transformátoru.

Tabulka 44- Nastavení zemní směrové ochrany

Vedení	Zemní směrová ochrana		
	$U_0 (\%)$	$I_0 (\text{A})$	$t_0 (\text{s})$
VN59(VN20)	15	2	0,2
VN33	15	2	0,2
VN272	15	2	0,2
VN262	15	2	0,2
VN278	15	2	0,2
VN374	15	2	0,2
VN974	15	2	0,2
VN972	15	2	0,2
VN990	15	2	0,2
VN991	15	2	0,2
SP	-	-	-
TVS2	-	-	-

5.6 Opětné zapnutí

K instalaci dvojitého opětného zapnutí musí rozvodna splňovat dva předpoklady. Prvním předpokladem je nutnost ochrany uskutečnit opětné zapnutí. K této funkci sloužily přístroje OZ33X, které nedisponují funkcí dvojnásobného opětného zapnutí. Druhý předpoklad je kladen na vypínače, které musí uchlazet časté vypínání. Tuto podmínku splňují vypínače se zhášecím médiem SF6 a vakuem, které se nacházejí na rozvodně Krnov. Jak již bylo zmíněno, na rozvodně Krnov dojde k instalaci ochran SIEMENS SIPROTEC 5 7SJ85, které disponují funkcí dvojnásobného opětného zapnutí.

Opětné zapnutí se využívá v místech, kde můžou vzniknout přechodné poruchy. Používá se u venkovního vedení. U kabelového vedení se opětovné zapnutí nepoužívá. Zapůsobením opětovného zapnutí se přechodná porucha eliminuje.

K nastavení opětného zapnutí se v sítích ČEZ Distribuce využívá dvou beznapětových pauz. První pauza je nastavena na 0,8 sekund. Tento čas je nastaven pro udržení obnovitelných zdrojů v provozu v případě, kdy na jiném vedení nastane zkrat, ale v případě zkratu na vlastním vedení musí dojít k vypnutí. Problémem můžou být i dojíždějící motory, které většinou nemají podpětovou ochranu, jež by odpojila motor od sítě. To je důvodem, proč je nutné zkoordinovat časy mezi zkratovými ochranami, beznapětovými pauzami opětovného zapnutí a podpětovými ochranami obnovitelných zdrojů a motorů. Druhá napětová pauza se nastavuje na 25 sekund. Je nutné, aby došlo k dochlazení vypínací komory vypínače. Výrobci vypínačů stanovují nejkratší dobu druhé napětové pauzy na 15 sekund.

Tabulka 45- Nastavení opětného zapnutí

Vedení	Opětné zapnutí		
	Stav	t ₁ (s)	t ₂ (s)
VN59(VN20)	Zapnuto	0,8	25
VN33	Vypnuto	-	-
VN272	Zapnuto	0,8	25
VN262	Zapnuto	0,8	25
VN278	Zapnuto	0,8	25
VN374	Zapnuto	0,8	25
VN974	Vypnuto	-	-
VN972	Vypnuto	-	-
VN990	Vypnuto	-	-
VN991	Vypnuto	-	-
SP	-	-	-
TVS2	Vypnuto	-	-

6 Závěr

Cílem diplomové práce je vypočítat a navrhnout nastavení ochran na rozvodně 110/22 kV Krnov. První část práce se zabývá teoretickým rozбором ochran a výpočtu zkratových proudů, který je nutný znát k výsledným výpočtům a následně k nastavení ochran. Výpočty se realizovaly kvůli rekonstrukci, jež se na rozvodně Krnov prováděla z důvodu instalace nových digitálních ochran namísto starých digitálních a elektromechanických ochran, které jsou považovány za nespolehlivé a nemají dostačující ochranné vlastnosti. Nově instalované ochrany Siemens SIPROTEC 5 7SJ85 nahradí funkci všech stávajících ochran, a tím sjednotí ochrany v jednu funkční jednotku.

V první řadě byl proveden výpočet zkratových poměrů. K výpočtu bylo potřebné znát parametry napájecích transformátorů T101 a T102, zkratové poměry na primární straně rozvodny a parametry jednotlivých vedení. V schématu lze vidět, že je zapojen napájecí transformátor T102 a transformátor T101 je odstavený. V případě poruchy nebo jiných okolností se transformátor uvede do provozu a je nutné zahrnout jeho parametry do výpočtu. Výsledkem jsou minimální a maximální zkratové impedance, jež jsou nutné k výpočtu minimálního zkratového proudu a maximálního zkratového proudu. Příklad výpočtu je proveden na vedení VN272.

Nastavení rozběhové proudu se nastavuje pro nadproudový článek a zkratový článek. V případě ochrany Siemens SIPROTEC 5 není nutné ve vzorci započítávat převod přístrojového transformátoru primární strany na sekundární stranu, protože se nastavuje hodnota na primární straně. Koeficient bezpečnosti se volí podle druhu vedení. Jedná-li se o kabelové vedení, lze ho trvale zatěžovat 105 % jmenovitého proudu. U vedení je tato hodnota stanovena na 120 %. Příklad výpočtu byl proveden pro vedení VN272. Je nutné zkontrolovat, zda hodnota rozběhového proudu nadproudového článku nepřesahuje hodnotu, kterou stanovuje výrobce přístrojového transformátoru. Tato hodnota je stanovena na $1,2 \cdot \text{PTP}$. Časy vypnutí jsou zvoleny z praktických zkušeností a dlouholeté správné funkčnosti. Nastavení nadproudového článku spojky nacházejícího se mezi transformátory se nastavuje podle přetížitelnosti přístrojového transformátoru proudu, jenž je stanoven na $1,2 \cdot \text{PTP}$. Zemní směrová ochrana na rozvodně Krnov využívá wattovou ochranu. Dle praxe se nastavují jednotné hodnoty pro tyto ochrany, které jsou uvedeny v tabulce 44. Na rozvodně Krnov se využívalo opětného zapnutí díky elektromechanické automatiky OZ33X, která nesplňuje funkci dvojitého opětného zapnutí. Ochrana SIPROTEC 5 splňuje tento požadavek, díky čemuž je možné dvojité opětné zapnutí na rozvodně Krnov použít. V síti ČEZ Distribuce se používá dvou napěťových pauz. První napěťová pauza se nastavuje v čase 0,8 sekund a druhá napěťová pauza se stanovuje na 25 sekund. Na rozvodně Krnov je většina vedení kabelového, takže opětné zapnutí u těchto vedení nenajde uplatnění.

Seznam použité literatury:

- [1] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*: určeno [také] pro posl. pomaturitního inovačního studia oboru zařízení silnoproudé elektrotechn. a studia postgraduálního. Praha: SNTL, 1978. Řada elektrotechnické literatury.
- [2] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [3] JANÍČEK, František. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2135-2.
- [4] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: Vydala VŠB-TU Ostrava ve vydavatelství Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [5] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [6] KREJČÍ, Petr. *Cvičení z elektroenergetiky*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0471-9.
- [7] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Brno: Vysoké učení technické, 1986.
- [8] Podklady poskytnuté firmou ČEZ Distribuce, a.s.
- [9] SIEMENS, *SIPROTEC 5 Nadproudová ochrana 7SJ82/7SJ85: Příručka*, 2013.
- [10] BLOKŠA, Milan. *Indikace zemního spojení v sítích vn*. Konference ČK CIRED, 2005.
- [11] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.

Seznam příloh

Příloha 1- Schéma rozvodny Krnov 110/22 kV

Krnov

